

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACIÓN
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA



“Desarrollo de un prototipo de un sistema de control automático de una ducha eléctrica mediante reconocimiento por comandos de voz para personas con discapacidad en las extremidades inferiores, y no videntes”

**TRABAJO MONOGRÁFICO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
ELECTRÓNICO**

AUTOR:

Br. José Antonio Alvarez Espinoza

TUTOR:

Ing. Alvaro Gaitán

ASESOR:

Ing. Carlos Ortega

Managua, Nicaragua 2017

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por brindarme la oportunidad de formar parte de esta vida tan maravillosa y poder disfrutar de ella, mis metas y logros conseguidos con esfuerzo y dedicación.

A mis padres porque han luchado día a día para verme convertido en profesional y generalmente a mi familia por la comprensión y apoyo incondicional en situaciones tanto bueno como malas.

A la Universidad Nacional de Ingeniería UNI Por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional, y a todas las personas que forman parte de mi vida, quienes fueron un gran apoyo durante el transcurso de este tiempo.

DEDICATORIA

Este trabajo realizado con mucho esfuerzo se lo dedico a Dios por haberme dado la sabiduría, la mentalidad e inteligencia para realizarlo con éxito.

A mis padres por guiarme por un buen camino e inculcarme como una persona de bien, por toda su comprensión, su apoyo moral e incondicional.

A todos quienes forman parte de mi familia por el apoyo que me han brindado a lo largo de este camino.

RESUMEN

En la actualidad las personas que sufren de limitaciones en las extremidades inferiores y personas no videntes requieren la ayuda de terceras personas para realizar actividades como el aseo personal, debido que sus limitaciones les impiden desenvolverse correctamente al ducharse, es por ello que hoy en día la implementación de sistemas de control para personas con discapacidad física está tomando gran incremento, mejorando la calidad de vida, permitiéndoles desenvolverse sin la necesidad de algún tipo de ayuda.

El presente proyecto otorga una visión global, debido que ayuda a estas personas a realizar la actividad del aseo personal fácilmente.

Se ha realizado un sistema que permite controlar la temperatura, el flujo de agua, y el encendido y apagado por medio de comandos de voz, con el fin de ofrecer independencia a la persona no vidente y personas con discapacidades en las extremidades inferiores.

ÍNDICE

INTRODUCCION	1
OBJETIVO GENERAL.....	2
JUSTIFICACIÓN.....	3
CAPITULO I. MARCO TEÓRICO	4
1.1. Sistemas de control	4
1.1.1. Sistemas de control de lazo abierto	6
1.1.2. Sistemas de control de lazo cerrado	7
1.2. Control PID	9
1.2.1. Sintonización del controlador mediante Ziegler-Nichols.....	11
1.2.2. Controlador digital PID	13
1.3. Ducha Eléctrica	16
1.3.1. Funcionamiento.....	17
1.4. Motor	19
1.4.1. Motores paso a paso.....	20
1.4.2. Servomotor.....	20
1.5. Microcontrolador	23
1.6. Triac	26
1.7. Sensor	28
1.7.1. Sensor de temperatura	29
1.8. Pantalla LCD	30
1.9. Reconocimiento de voz	32
CAPITULO II. ANALISIS Y PRESENTACION DE LOS RESULTADOS.....	36
2.1. Diseño metodológico.....	36
2.2. Aplicación y análisis de encuestas a personas discapacitadas en el Hogar de Ancianos de Jinotepe, Carazo.....	37
2.3. Diagrama de bloques del sistema total	38
2.4. Diseño de la fuente de alimentación	39
2.4.1. Cálculos de la fuente de 5V DC	39
2.5. Diseño del circuito de control.....	43
2.5.1. Circuito detector del cruce por cero	44

2.5.2.	Circuito de potencia	47
2.5.2.1.	Cálculos del circuito de potencia	48
2.6.	Diseño del controlador digital PID.....	50
2.7.	Realización de los algoritmos de programación	55
2.7.1.	Servomotor.....	55
2.7.2.	Calentador de la ducha eléctrica.....	57
2.7.3.	Módulo EasyVR	59
2.8.	Implementación del prototipo	64
2.8.1.	Implementación del módulo EasyVR	64
2.8.2.	Implementación del calentador de la ducha eléctrica.....	76
2.8.3.	Implementación Servomotor	78
2.9.	Consumo energético del sistema total.....	79
2.9.1.	Consumo energético sin control.....	80
2.9.2.	Consumo energético con control.....	80
2.10.	Presupuesto	83
CAPITULO III. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		84
3.1.	Conclusiones.....	84
3.2.	Recomendaciones	85
REFERENCIAS.....		86

TABLA DE ILUSTRACIONES

FIGURA 1. SISTEMA DE CONTROL DE LAZO ABIERTO (NISE, 2011)	6
FIGURA 2. SISTEMA DE CONTROL DE LAZO CERRADO (NISE, 2011).....	8
FIGURA 3. RESPUESTA DE SALIDA A UNA ENTRADA ESCALÓN	12
FIGURA 4. DISEÑO PARALELO DEL CONTROLADOR PID	14
FIGURA 5. ALGORITMO DE PROGRAMACIÓN DEL PID	15
FIGURA 6. DUCHA LORENZETTI (LORENZETTI, S.F.).....	19
FIGURA 7. SERVOMOTOR MG996R (MG996R, S.F.)	23
FIGURA 8. DIAGRAMA DE BLOQUES GENERAL DE UN MICROCONTROLADOR (IBRAAHIM, 2008)	24
FIGURA 9. TRIAC BTA-40 (BTA-40, S.F.)	28
FIGURA 10. PANTALLA LCD (16X2, S.F.).....	31
FIGURA 11. MÓDULO EASYVR (SHIELD, S.F.).....	35
FIGURA 12. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA TOTAL	38
FIGURA 13. FUENTE DE 5V DC.....	43
FIGURA 14. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL CIRCUITO DE CONTROL	44
FIGURA 15. CIRCUITO CRUCE POR CERO	44
FIGURA 16. SEÑAL DE CRUCE POR CERO	46
FIGURA 17. ETAPA DE POTENCIA	48
FIGURA 18. CIRCUITO DEL PROTOTIPO SIN EL MÓDULO EASYVR	49
FIGURA 19. RESPUESTA ANTE UNA ENTRADA ESCALÓN.....	51
FIGURA 20. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS τ_0 , γ_0 Y k_0	52
FIGURA 21. ALGORITMO CORRESPONDIENTE AL SERVOMOTOR	55
FIGURA 22. ALGORITMO CORRESPONDIENTE A CALENTADOR DE DUCHA ELÉCTRICA	57
FIGURA 23. ALGORITMO CORRESPONDIENTE A RECONOCIMIENTO DE VOZ.....	59
FIGURA 24. SOFTWARE DEL EASYVR	60
FIGURA 25. GRUPOS DE COMANDOS.....	61
FIGURA 26. WORDSET 1	62
FIGURA 27. WORDSET 2	62
FIGURA 28. WORDSET 3	63
FIGURA 29. RASPBERRY PI 3 (PI, S.F.)	67
FIGURA 30. MICRÓFONO USB	68
FIGURA 31. TUBO USADO PARA SENSOR LM35 (ALUMINIO, S.F.)	77
FIGURA 32. SOPORTE DEL SERVOMOTOR	78
FIGURA 33. SISTEMA TOTAL IMPLEMENTADO	79
TABLA 1. TIPOS DE DUCHAS	18
TABLA 2. COMPARACIÓN DE SERVOMOTORES	22
TABLA 3. COMPARACIÓN DE VARIAS PLATAFORMAS DE PROGRAMACIÓN	25
TABLA 4. SELECCIÓN DEL TRIAC	27
TABLA 5. COMPARACIÓN DE ALGUNOS SENSORES DE TEMPERATURA.....	29
TABLA 6. SELECCIÓN DE PANTALLA LCD.....	31
TABLA 7. COMPARACIÓN DE MÓDULOS RECONOCIMIENTO DE VOZ.....	33
TABLA 8. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL MOC3010	47
TABLA 9. ESTADOS DE LA VÁLVULA.....	56
TABLA 10. GRUPOS DE COMANDOS.....	65
TABLA 11. CONSUMO ENERGÉTICO SIN CONTROL	80

TABLA 12. CONSUMO ENERGÉTICO DEL CIRCUITO DE CONTROL	81
TABLA 13. CONSUMO ENERGÉTICO DEL CIRCUITO DE POTENCIA	81
TABLA 14. CONSUMO ENERGÉTICO TOTAL DEL SISTEMA	82
TABLA 15. PRESUPUESTO DEL PROYECTO	83

INTRODUCCION

Las personas con discapacidad no pueden desenvolverse de manera normal en sus actividades diarias y suelen requerir la ayuda de alguna persona o por lo general de algún familiar. Es sumamente difícil para una persona que no tiene disponibilidad o completo dominio de sus extremidades inferiores o personas no videntes el poder regular la temperatura del agua mediante perillas, y el flujo de agua mediante el movimiento de la válvula durante el aseo personal. En nuestro país, la cantidad de población discapacitada se encuentra en aumento, así como la necesidad de comodidad en sus actividades diarias, como lo es, el aseo personal.

Este proyecto consiste en un sistema de control de una ducha eléctrica mediante el reconocimiento por comandos de voz, permitiéndole a la persona discapacitada la facilidad de tomarse un baño de forma autónoma sin realizar un mayor esfuerzo, evitando la necesidad de ayuda de terceras personas.

El proyecto se realizó en cuatro fases. En la primera fase se realizaron los diseños de los circuitos de la fuente de alimentación, acondicionadores de señal e interfaces de entrada y salida del prototipo. En la segunda fase, se diseñó el algoritmo y la programación del sistema de control del prototipo. En la tercera fase, se realizaron pruebas del prototipo en tabla de nodos y luego se construyó el sistema total en tarjetas PCB. En la cuarta fase, se realizaron las correspondientes pruebas finales comprobando la eficiencia del sistema total.

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un prototipo de control automático para una ducha eléctrica mediante reconocimiento por comandos de voz para personas con discapacidad en las extremidades inferiores y no videntes.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Diseñar los circuitos de fuente de alimentación, acondicionadores de señal, interfaces de entrada y salida, y control de la ducha eléctrica tomando como referencia los comandos de voz configurados en el módulo de reconocimiento por voz e implementándolo en un microcontrolador.
2. Verificar mediante simulación la efectividad de dichos circuitos diseñados.
3. Realizar pruebas del prototipo en tabla de nodos para determinar su correcto funcionamiento y realizar mejoras al mismo.
4. Desarrollo y construcción del prototipo en tarjetas PCB utilizando la técnica ampliamente usada como es el método de planchado y la introducción de la pista previamente planchada en ácido.

JUSTIFICACIÓN

El interés de desarrollar tecnologías que contribuyan a mejorar la calidad de vida de las personas con discapacidad en las extremidades inferiores y las no videntes, surge debido a la necesidad de éstas, de poder realizar actividades en el entorno cotidiano, principalmente tener autonomía al efectuar el aseo personal, como es el bañarse.

Se realizó una encuesta a una muestra de 20 personas siendo la mayoría de este grupo personas con discapacidad, acerca de una ducha eléctrica con reconocimiento por voz y la utilidad que puedan tener con ésta. En los resultados de esta encuesta se reflejó que estas personas querían tener la facilidad de tomarse un baño de forma automática sin realizar un mayor esfuerzo, evitando la necesidad de ayuda de terceras personas reflejando que el 100% de las personas encuestadas contestaron que sí, y el 85% de estas personas les pareció excelente la idea de la ducha controlada por comandos de voz, con el mismo porcentaje respondieron que la idea les pareció interesante e innovador, y con el 85% las personas encuestadas contestaron que el proyecto estaba perfecto, siendo el resultado por parte de éstas personas el esperado.

Con este proyecto se adquirieron conocimientos tales como: uso de sistemas de control por comandos de voz, control de temperatura para cargas que demandan grandes cantidades de corriente, aparte que contribuye a desarrollar un poco más la toma de decisiones y a desenvolverse en el gran campo de sistemas de control, desarrollando grandes habilidades con respecto al uso de los sistemas de control por reconocimiento de voz.

La importancia del presente proyecto a nivel social, es la ayuda que ofrece el dispositivo electrónico a la persona discapacitada, ofreciendo seguridad, confianza y especialmente independencia, pero sobretodo privacidad. Es un producto que otorgará facilidad de uso al tener la ventaja de poder controlar la temperatura y flujo del agua mediante reconocimiento por comandos de voz, por lo que tendrá una gran acogida en el ámbito social y económico.

CAPITULO I. MARCO TEÓRICO

1.1. Sistemas de control

Los sistemas de control son una parte integral de la sociedad moderna. Numerosas aplicaciones están a nuestro alrededor: Los cohetes de fuego, y el transbordador espacial despegan a la órbita terrestre, un vehículo guiado automáticamente que entrega el material a las estaciones de trabajo en una planta de ensamblaje aeroespacial a lo largo del piso buscando su destino. Estos son sólo algunos ejemplos de sistemas controlados automáticamente que podemos crear. (Nise, 2011)

No somos los únicos creadores de sistemas controlados automáticamente; Estos sistemas también existen en la naturaleza. Dentro de nuestros propios cuerpos hay numerosos sistemas de control, como el Páncreas, el cual, regula nuestro azúcar en la sangre. En tiempo de "lucha o huida", nuestra adrenalina aumenta junto con nuestra frecuencia cardíaca, causando más oxígeno para ser entregado a nuestras células. Nuestros ojos siguen un objeto en movimiento para mantenerlo a la vista; nuestras manos agarran el objeto y lo colocan precisamente en un lugar predeterminado. (Nise, 2011)

Incluso el mundo no físico parece estar regulado automáticamente. Modelos han sido sugeridos mostrando el control automático del rendimiento de los estudiantes. La entrada al modelo es el tiempo de estudio disponible del estudiante, y la salida es el grado. Un sistema de control consta de subsistemas y procesos (o plantas) montados con el fin de obtener una salida deseada con el rendimiento deseado, dada una entrada especificada. (Nise, 2011)

Robots diseñados por principios de sistema de control pueden compensar las discapacidades humanas. Los sistemas de control también son útiles en lugares peligrosos. Por ejemplo, un brazo robótico controlado puede ser utilizado para recoger material en un ambiente radiactivo. Los sistemas de control también se

pueden utilizar para proporcionar comodidad cambiando la forma de la entrada. Por ejemplo, en un sistema de control de temperatura, la entrada es una posición en un termostato. La salida es calor. De este modo, una entrada de posición conveniente proporciona una salida térmica deseada. Otra ventaja de un sistema de control es la capacidad de compensar las perturbaciones. Normalmente, controlamos variables tales como temperatura en sistemas térmicos, posición y velocidad en sistemas mecánicos, y voltaje, corriente o frecuencia en sistemas eléctricos. El sistema debe ser capaz de producir la salida correcta incluso con una perturbación. (Nise, 2011)

Por ejemplo, considere un sistema de antena que apunte en una dirección. Si el viento fuerza la antena desde su posición de mando, o si el ruido entra internamente, el sistema debe ser capaz de detectar la perturbación y corregir la posición. Obviamente, la entrada del sistema no cambiará para hacer la corrección. Por consiguiente, el propio sistema debe medir la cantidad de la perturbación que ha movido la antena y luego devolver la antena a la posición ordenada por la entrada. (Nise, 2011)

El control automático es esencial en cualquier campo de la ingeniería y la ciencia. También es una parte importante e integral de los sistemas de vehículos espaciales, sistemas robóticos, sistemas de fabricación modernos, y cualquier operación industrial que implique control de temperatura, presión, humedad, flujo, etc. (Ogata, 2010)

En la actualidad los sistemas de control son utilizados en todos los sectores de la industria, tales como: control de la calidad de productos manufacturados, líneas de ensamble automático, control de máquinas, control por computadoras, sistema de potencia, robótica, etc. Existen dos configuraciones principales de sistemas de control: lazo abierto y lazo cerrado. (Nise, 2011)

1.1.1. Sistemas de control de lazo abierto

Un sistema de lazo abierto como se muestra en la Figura 1. Se inicia con un subsistema llamado transductor de entrada, que convierte la forma de la entrada a la utilizada por el controlador. El controlador acciona un proceso o una planta. La entrada a veces llamada la referencia, mientras que la salida puede ser llamada la variable controlada. Otras señales, tales como disturbios, se muestran añadidos a la salida del controlador y el proceso a través de uniones de suma, que producen la suma algebraica de las señales de entrada utilizando signos asociados. (Nise, 2011)

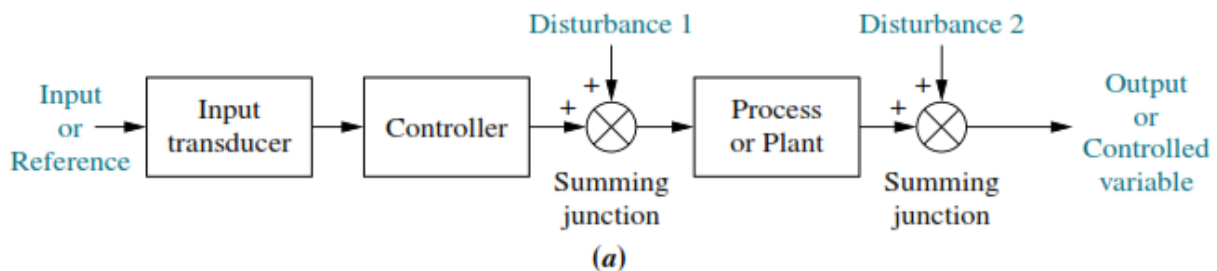


Figura 1. Sistema de control de lazo abierto (Nise, 2011)

La característica distintiva de un sistema de lazo abierto es que no puede compensar las perturbaciones que se suman a la señal de conducción del controlador. La salida de un sistema de lazo abierto está afectado no sólo por las señales que se suman a los comandos de los controladores, sino también por perturbaciones del controlador en la salida y el sistema no puede corregir estas perturbaciones. (Nise, 2011)

Los sistemas en los que la salida no tiene efecto en la acción de control se denominan sistemas de control de lazo abierto. En otras palabras, en un sistema de control de lazo abierto, la salida no se mide ni se retroalimenta para compararla con la entrada. Un ejemplo práctico es una lavadora. El remojo, lavado y enjuague en la lavadora funciona en base al tiempo. La máquina no mide la señal de salida, es decir, la limpieza de la ropa. (Ogata, 2010)

En cualquier sistema de control de lazo abierto, la salida no se compara con la entrada de referencia. De este modo, a cada entrada de referencia corresponde una condición de funcionamiento fija; como resultado, la precisión del sistema depende de la calibración. En presencia de perturbaciones, un sistema de control de lazo abierto no realizará la tarea deseada. El control de lazo abierto en la práctica puede ser usado, sólo si se conoce la relación entre la entrada y la salida y si no hay disturbios internos ni externos. Claramente, estos sistemas no son sistemas de control retroalimentados. Tenga en cuenta que cualquier sistema de control que funcione en base al tiempo es lazo abierto. Otro ejemplo sería, el control de tráfico por medio de señales operadas en base al tiempo es otro ejemplo de control de lazo abierto. (Ogata, 2010)

1.1.2. Sistemas de control de lazo cerrado

Los sistemas de control con retroalimentación a menudo son referidos como sistemas de control de lazo cerrado. En la práctica, los términos control con realimentación y control de lazo cerrado se utilizan indistintamente. En un sistema de control de lazo cerrado, la señal de error de accionamiento, es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación (el cual puede ser la propia señal de salida o una función de la señal de salida y sus derivados o integrales), se alimenta al controlador para reducir el error y traer la salida del sistema a un valor deseado. El término control de lazo cerrado implica siempre el uso de la acción de control de retroalimentación para reducir el error del sistema. (Ogata, 2010)

El sistema de circuito cerrado compensa las perturbaciones midiendo la respuesta de la salida, la alimentación de la medición de nuevo a través de un camino de retroalimentación, y compara la respuesta a la entrada en la unión de suma. Si hay alguna diferencia entre dos respuestas, el sistema acciona la planta, a través de la señal de accionamiento, para hacer una corrección. Si no hay diferencia, el sistema

no maneja la planta, ya que la respuesta de la planta es ya la respuesta deseada. (Nise, 2011)

Los sistemas de lazo cerrado, entonces, tienen la ventaja obvia de una mayor precisión que los sistemas de lazo abierto. Son menos sensibles al ruido, a las perturbaciones y al entorno. La respuesta transitoria y el error en estado estacionario puede ser controlada más convenientemente y con mayor flexibilidad en sistemas de circuito cerrado, a menudo por ajuste de la ganancia (amplificación) en el lazo y a veces rediseñando el controlador. Nos referimos al rediseño como una compensación al sistema resultando Hardware como un compensador. Por otro lado, los sistemas de circuito cerrado son más complejos y costosos que los sistemas de lazo abierto. (Nise, 2011)

En resumen, los sistemas que realizan la medición descrita anteriormente y de corrección se llama lazo cerrado, o sistemas de control de retroalimentación. Los sistemas que no lo hacen tienen esta propiedad de medición y la corrección se denominan sistemas de lazo abierto, la arquitectura genérica de un sistema de circuito cerrado se muestra en la Figura 2 (Nise, 2011)

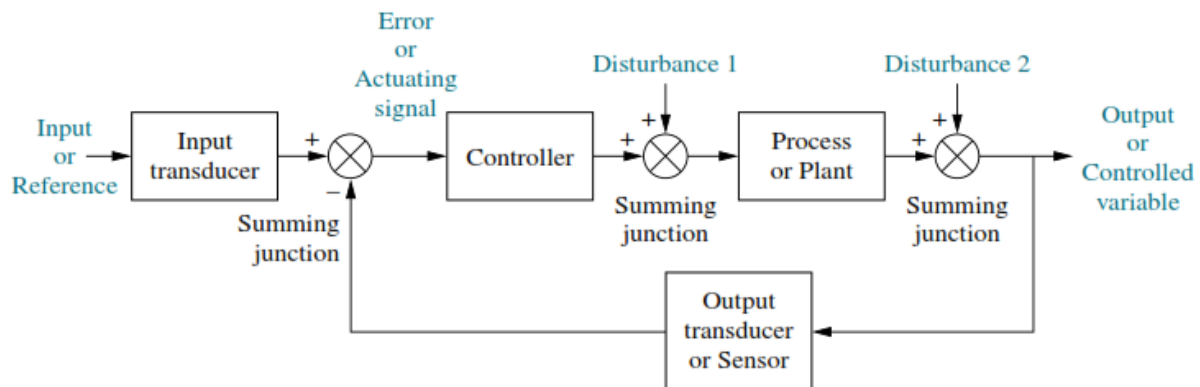


Figura 2. Sistema de control de lazo cerrado (Nise, 2011)

1.2. Control PID

El controlador PID es una implementación simple de la idea de realimentación. Tiene la capacidad de eliminar errores en estado estacionario mediante la acción integral, y puede anticipar el futuro con la acción derivativa. Los controladores PID, o incluso los controladores PI, son suficiente para muchos problemas de control, particularmente cuando las dinámicas del proceso son benignas y los requisitos de comportamiento son modestos. (Karl J. Astrom, 2009)

Los controladores PID se encuentran en un gran número en todas las industrias y se presentan de muchas formas diferentes. Hay sistemas integrados en dispositivos aptos para uno o unos pocos lazos de control. El controlador PID es un elemento clave de los sistemas para control de motores. El controlador PID es un ingrediente importante de los sistemas distribuidos para el control de procesos. Los controladores están también embebidos en muchos sistemas de control de propósito especial. Se encuentran en sistemas tan diversos como los reproductores de CD y DVD, el control de velocidad de los coches, y los microscopios de fuerza atómica. En control de procesos, más del 95 por ciento de los lazos de control son del tipo PID; la mayoría de los lazos son realmente control PI. Muchas características útiles del control PID no han sido ampliamente diseminadas porque han sido consideradas secretos comerciales. (Karl J. Astrom, 2009)

Es interesante observar que más de la mitad de los controladores industriales en uso hoy en día son controladores PID o controladores PID modificados. Debido a que la mayoría de los controladores PID se ajustan, muchos tipos diferentes de ajuste han sido propuestas en la literatura. Usando estas reglas de ajuste, ajuste delicado y fino de los controladores PID que pueden realizarse. Además, los métodos de ajuste automático han sido desarrollados y algunos de los controladores PID pueden poseer ajuste automático. (Ogata, 2010)

La utilidad de los controles PID reside en su aplicabilidad general a la mayoría de los sistemas de control. En particular, cuando el modelo matemático de la planta no se conoce y por lo tanto no se pueden utilizar métodos analíticos de diseño, los controles PID resultan ser los más útiles. En el campo de los sistemas de control de procesos, es bien conocido que el básico y modificado control PID ha demostrado su utilidad para proporcionar un control satisfactorio, Aunque en muchas situaciones dadas pueden no proporcionar un control óptimo. (Ogata, 2010)

Ziegler y Nichols sugirieron reglas para afinar controladores PID (que significa establecer valores K_p , T_i y T_d) basados en el paso experimental o basándose en el valor que se obtiene una estabilidad marginal cuando sólo se utiliza la acción de control. (Ogata, 2010)

Uno de los controladores más comunes que se utilizan en el control de temperatura es el PID (Proporcional-Integral-Derivativo). Se puede indicar que un controlador PID responde a la siguiente ecuación: (Breijo, 2008)

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{\partial e(t)}{\partial t} \text{ Ec. 1}$$

Donde $e(t)$ es el error de la señal y $u(t)$ es la entrada de control del proceso, K_p es la ganancia proporcional, T_i es la constante de tiempo integral y T_d es la constante de tiempo derivativa. (Breijo, 2008)

En el dominio de la frecuencia, el controlador PID se puede escribir como: (Breijo, 2008)

$$U(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) E(s) \text{ Ec. 2}$$

1.2.1. Sintonización del controlador mediante Ziegler-Nichols

Ziegler-Nichols sugirieron valores para los parámetros del control PID basados en análisis de lazo abierto y lazo cerrado del proceso a controlar. En lazo abierto, muchos procesos pueden definirse según la siguiente función de transferencia: (Breijo, 2008)

$$G(s) = \frac{K_0 e^{-s\tau_0}}{1 + \gamma_0 s} \text{ Ec. 3}$$

Donde los coeficientes K_0 , τ_0 y γ_0 se obtienen de la respuesta del sistema en lazo abierto a una entrada escalón. Se parte del sistema estabilizado en $y(t) = y_0$ para $u(t) = u_0$. Se aplica una entrada escalón de u_0 a u_1 (el salto debe estar entre un 10% y un 20% del valor nominal) y se registra la respuesta de la salida hasta que se estabilice en el nuevo punto de operación. Los parámetros se pueden obtener de la respuesta mostrada en la figura 3. (Breijo, 2008)

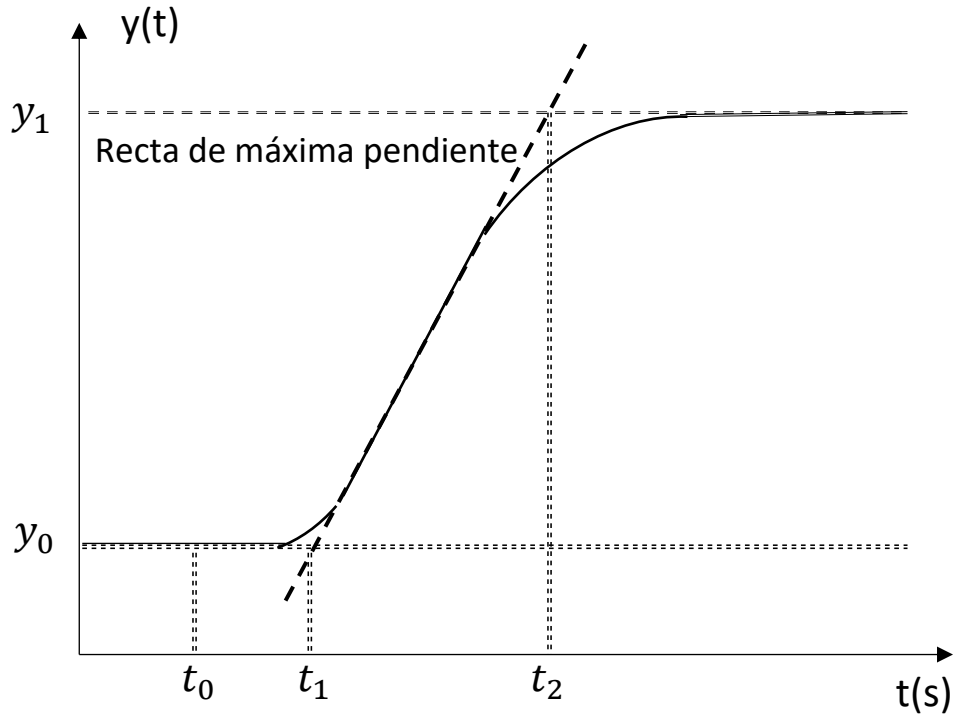


Figura 3. Respuesta de salida a una entrada escalón

Donde los parámetros se pueden obtener de esta respuesta:

:

$$\tau_0 = t_1 - t_0 \text{ Ec. 4}$$

$$\gamma_0 = t_2 - t_1 \text{ Ec. 5}$$

$$k_0 = \frac{y_1 - y_0}{u_1 - u_0} \text{ Ec. 6}$$

Según Ziegler-Nichols, las relaciones de estos coeficientes con los parámetros del controlador es la siguiente: (Breijo, 2008)

$$K_p = 1.2 \frac{\gamma_0}{k_0 \tau_0} \text{ Ec. 7}$$

$$T_i = 2\tau_0 \text{ Ec. 8}$$

$$T_d = 0.5\tau_0 \text{ Ec. 9}$$

1.2.2. Controlador digital PID

La función de transferencia para el controlador PID discreto viene dado por la transformada Z: (Breijo, 2008)

$$U(z) = K_p \left[1 + \frac{T}{T_i(1-z^{-1})} + T_d \frac{(1-z^{-1})}{T} \right] E(z) \text{ Ec. 10}$$

La función de transferencia discreta, también puede ser representada como: (Breijo, 2008)

$$\frac{U(z)}{E(z)} = a + \frac{b}{1-z^{-1}} + c(1-z^{-1}) \text{ Ec. 11}$$

Donde:

$$a = K_p \text{ Ec. 12}$$

$$b = \frac{K_p T}{T_i} \text{ Ec. 13}$$

$$c = \frac{K_p T_d}{T} \text{ Ec. 14}$$

Existen distintas posibilidades de la realización práctica de un controlador PID, una de las más habituales es la realización en paralelo como se aprecia en la figura 4. (Breijo, 2008)

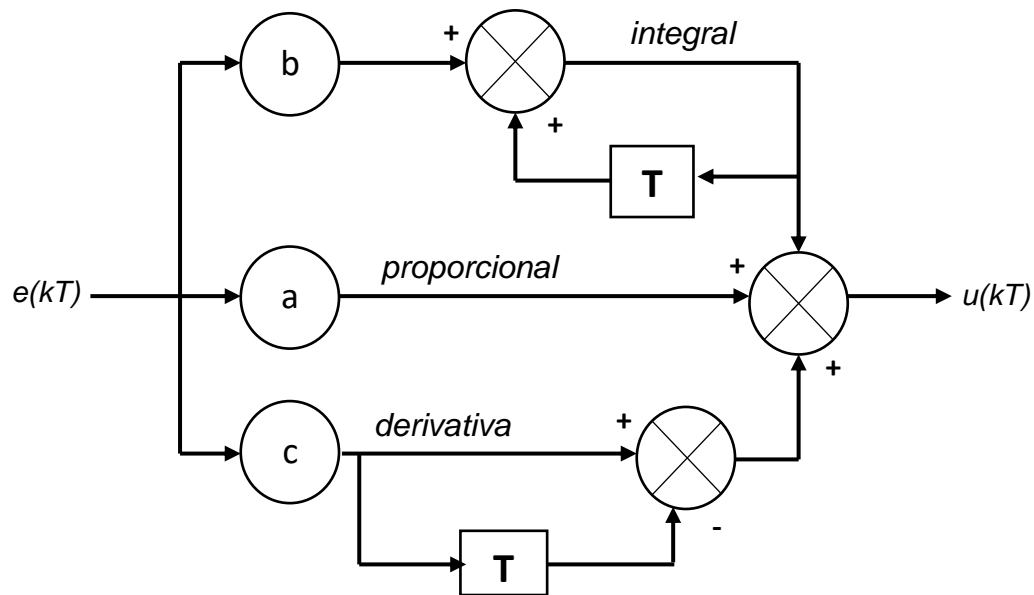


Figura 4. Diseño paralelo del controlador PID

El algoritmo utilizado para programar el microcontrolador se muestra en la figura 5. El muestreo (T) debe ser mayor que el tiempo de establecimiento del sistema en lazo abierto. En el modelo Ziegler-Nichols se toma un valor $T < \tau_0/4$ (también puede utilizarse $T < \tau_0/10$). (Breijo, 2008)

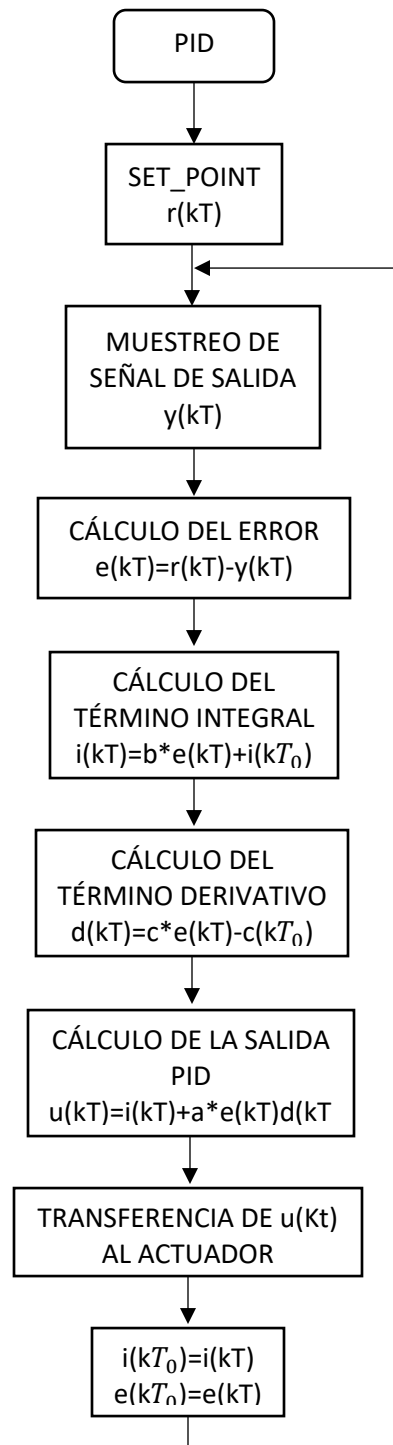


Figura 5. Algoritmo de programación del PID

1.3. Ducha eléctrica

En la actualidad, el agua caliente sanitaria se incluye entre las necesidades básicas de todo hogar. En lo que se refiera a su producción, a partir de la energía eléctrica, se han producidos progresos significativos en los últimos años. Los sistemas tradicionales de acumulación, se están sustituyendo por los calentadores de producción instantánea. (Eltron)

Las duchas eléctricas son aparatos que producen agua caliente sin necesidad de almacenarla. Son muy económicas, el agua necesaria fluye a través del aparato y se calienta instantáneamente por medio de electricidad. El consumo de agua caliente en una casa depende, en gran medida, de las costumbres personales de los usuarios. (Eltron)

Los factores que están favoreciendo la implantación de los calentadores eléctricos instantáneos se pueden resumir:

- Es un sistema limpio, económico y de gran rendimiento. La excelente acogida por el usuario final, según encuestas realizadas en instalaciones existentes, lo corroboran.
- El aumento de viviendas todo eléctrico, para usuarios con un poder adquisitivo cada vez más alto, que optan por el confort y la seguridad eléctrica.
- La aplicación de nuevas tecnologías, en este tipo de aparatos, consigue una gran precisión en la temperatura de salida del agua caliente, por lo que hace innecesaria la utilización de griferías termostáticas. (Eltron)

Las duchas son útiles sobre todo en los lugares en los que carecen de tubería de agua caliente, en los que solo existe un tubo que llega a la regadera, por lo que, si quieres evitar romper pisos o paredes para colocar otra tubería simplemente coloca tu ducha en lugar de la regadera común.

1.3.1. Funcionamiento

Al abrir la llave que controla el flujo del agua hacia la ducha, entra agua a presión en el cuerpo principal lo que hace que se mueva un diafragma ubicado en su interior, el cual a su vez acciona mecánicamente un soporte ubicado en la cavidad superior al que llegan el par de conductores (fase y neutro) que alimentan a la resistencia eléctrica, haciendo que las terminales de los alimentadores hagan contacto con las terminales de la resistencia eléctrica energizándola, produciéndose calor con ello. (Guerrero, 2011)

Si el agua no tiene suficiente presión el diafragma no alcanza a moverse lo suficiente para unir ambos pares de terminales. (Guerrero, 2011)

El agua caliente sale por el tubo de salida de agua hacia el distribuidor o esparcidor. Si no hay suficiente presión del agua de cualquier manera con poca fuerza alcanza a mover el diafragma consiguiendo salir, pero la resistencia no logra energizarse. (Guerrero, 2011)

El sistema requiere de una ducha eléctrica con capacidad de calentar el agua. Debe de estar en perfectas condiciones y especialmente al alcance de personas con bajos recursos económicos. En la Tabla 1 se presenta las características de algunas duchas eléctricas.

Tabla 1. Tipos de duchas

Parámetros	Lorenzetti	Rioplast	Kontiki
Temperatura	3 opciones	3 opciones	3 opciones
Sistema de puesta a tierra	Si	Si	Si
Tensión (voltios)	110-220	110-220	110-220
Grado de protección IP	IP24	IP24	IP24
Costo	≈ 18\$	≈ 40\$	≈ 60\$

Por las características expuestas en la Tabla 1 se puede notar que las duchas son fabricadas con el mismo fin, el cual es, calentar el agua que pasa por ella, ya sea para las distribuciones de 110 o 220 voltios. La diferencia es su costo, debido al material con el que son elaborados y al modelo de ducha eléctrica.

Debido a que existen diferentes modelos de duchas y su costo varía en dependencia de la marca, se optó por la ducha Lorenzetti con modelo simple la cual se aprecia en la figura 6.



Figura 6. Ducha Lorenzetti (Lorenzetti, s.f.)

1.4. Motor

Los motores eléctricos desempeñan un papel muy importante proporcionando potencia para distintos tipos de aplicaciones: domésticas, comerciales e industriales, su enorme versatilidad y economía de operación, prácticamente no puede ser igualada por ninguna otra forma de potencia para movimiento, se estima que prácticamente se emplean en un 90% de las aplicaciones industriales. (Harper, 2004)

En aplicaciones domesticas para casas de habitación la utilización de los motores eléctricos alcanzan también un alto grado, debido que se puede usar desde licuadoras, batidoras, bombas de agua, relojes eléctricos, aspiradores, pulidoras, etc. (Harper, 2004)

Con frecuencia se usan motores como dispositivos de corrección final en sistemas de control industrial. En una de esas aplicaciones el motor impulsa un

servomecanismo y hace que un objeto se coloque en la posición deseada. Entre otras aplicaciones se encuentran: abrir y cerrar válvulas, variar la velocidad de una bomba para ajustar el flujo del líquido y variar la velocidad de un ventilador para ajustar el flujo de aire. También hay muchas otras aplicaciones más. (Maloney, 2006)

Desde el punto de vista de fuentes de generación de energía eléctrica, la mayor parte de la potencia eléctrica que se genera es en corriente alterna, por lo que la mayoría de las aplicaciones de los motores eléctricos es en corriente alterna AC. Aun cuando desde el punto de vista de diseño existen también los llamados motores de corriente continua (CC), existen aplicaciones en donde los motores de corriente alterna (AC) pueden sustituir a los motores de corriente continua (CC) con algunas ventajas debido principalmente a sus diferencias constructivas, y a los recientes avances que se han tenido en el diseño de los dispositivos de control. (Harper, 2004)

1.4.1. Motores paso a paso

Los motores de pasos y los motores de corriente directa (DC) sin escobillas forman juntos la clase de motores llamados motores de conmutación electrónica, o motores conmutados electrónicamente. Conceptualmente se parecen entre sí. El motor de pasos es más adecuado para mover el eje una cantidad exacta de giro; el motor de corriente directa (DC) sin escobillas se adapta mejor a la rotación continua con velocidad ajustable. Procederemos a explicar en la siguiente sección los motores de corriente directa (DC). (Maloney, 2006)

1.4.2. Servomotor

Los servos son un tipo especial de motor de corriente continua (CC) que se caracterizan por su capacidad para posicionarse de forma inmediata en cualquier posición dentro de su intervalo de operación. Para ello, el servomotor espera un

tren de pulsos que se corresponde con el movimiento a realizar. Están generalmente formados por un amplificador, un motor, un sistema reductor formado por ruedas dentadas y un circuito de realimentación, todo en una misma caja de pequeñas dimensiones. El resultado es un servo de posición con un margen de operación de 180° aproximadamente.

Se dice que el servo es un dispositivo con un eje de rendimiento controlado ya que puede ser llevado a posiciones angulares específicas al enviar una señal codificada. Con tal que exista una señal codificada en la línea de entrada, el servo mantendrá la posición angular del engranaje. Cuando la señal codificada cambia, la posición angular de los piñones cambia. En la práctica, se usan servos para posicionar elementos de control como palancas, pequeños ascensores y timones. También se usan en radio-control, marionetas y, por supuesto, en robots, los servos son sumamente útiles en robótica.

La corriente que requiere depende del tamaño del servo. Normalmente el fabricante indica cual es la corriente que consume. Eso no significa mucho si todos los servos van a estar moviéndose todo el tiempo. La corriente depende principalmente del par, y puede exceder un amperio si el servo está enclavado.

El sistema requiere de un dispositivo que controle el paso del agua, por tal razón se optó por un motor eléctrico con torque lo suficientemente fuerte para mover una llave de paso, debido a que se necesita controlar el flujo de agua, por lo que utilizar una electroválvula ON/OFF no es factible, ya que esta tiene dos posiciones: abierto y cerrado, y se necesita que la válvula posea 3 estados: abierto, semi abierto, o cerrado, para así poder controlar el flujo de agua siendo el objetivo de ahorrar dicho recurso con la inclusión del estado semi abierto, se estaría ahorrando grandes cantidades de agua, el cual es, un vital liquido muy importante para los seres vivos.

Existen electroválvulas proporcionales las cuales no se toma en cuenta para realizar el proyecto debido a los tres estados que se necesitan y por su elevado precio. Al analizar las características principales de los motores electrónicos se opta por un servomotor, ya que la llave de paso de agua no necesita moverse más allá de los 90 grados. Además, que posee una de las grandes ventajas que es su velocidad y torque de giro, lo cual es, indispensable para realizar el correspondiente control de flujo, para seleccionar el servomotor más adecuado para el sistema, se realizó la comparación de distintos servomotores presentados en la Tabla 2.

Tabla 2. Comparación de servomotores

Servomotor	MG996R	HS-645MG
Torque	9,4 Kg.cm	7,7 Kg.cm
Alimentación	4.8-6 V	4.8-6 V
Tipo de engranaje	Metal	Metal
Peso	55 g	55,2 g
Tipo de motor	3 polos	3 polos
Velocidad	0.17 seg/60°	0.24 seg/60°
Costo (\$)	17	55

Para ejercer el giro sobre la perilla se necesita un torque de más de 9 kg.cm para poder girar la válvula de paso de agua, por ésta razón se ha considerado la opción del servomotor MG996R¹ ya que es el más óptimo para realizar este trabajo, gracias a la gran capacidad de torque que posee, en la Figura 7 se muestra el servomotor MG996R.

¹ Ver Anexo 5: Hojas de datos



Figura 7. Servomotor MG996R (MG996R, s.f.)

1.5. Microcontrolador

Un microcontrolador es una computadora de un solo chip. Micro sugiere que el dispositivo es pequeño y controlador sugiere que se utiliza en aplicaciones de control. Otro término para microcontrolador es controlador integrado, ya que la mayoría de los microcontroladores construyen (o incrustados en) los dispositivos que controlan. (Ibraahim, 2008)

Un microcontrolador, tiene todos los chips de soporte incorporados dentro de su único chip. Todos los microcontroladores operan sobre un conjunto de instrucciones (o el usuario programa) almacenados en su memoria. Un microcontrolador busca las instrucciones de su memoria de programa uno por uno, decodifica estas instrucciones, y luego realiza la operaciones requeridas. (Ibraahim, 2008)

Los microcontroladores han sido tradicionalmente programados utilizando el lenguaje ensamblador del dispositivo de destino. Aunque el lenguaje ensamblador es rápido, tiene varias desventajas. (Ibraahim, 2008)

La arquitectura más simple del microcontrolador consiste en un microprocesador, memoria, y entrada y salida. El microprocesador consta de una unidad central de procesamiento (CPU) y una unidad de control (CU). La CPU es el cerebro del microcontrolador; Aquí es donde se realizan operaciones aritméticas y lógicas. La CU controla las operaciones internas del microprocesador y envía señales a otras partes del microcontrolador para llevar a cabo Las instrucciones requeridas. En la Figura 8 se muestra el esquema general de un microcontrolador. (Ibraahim, 2008)

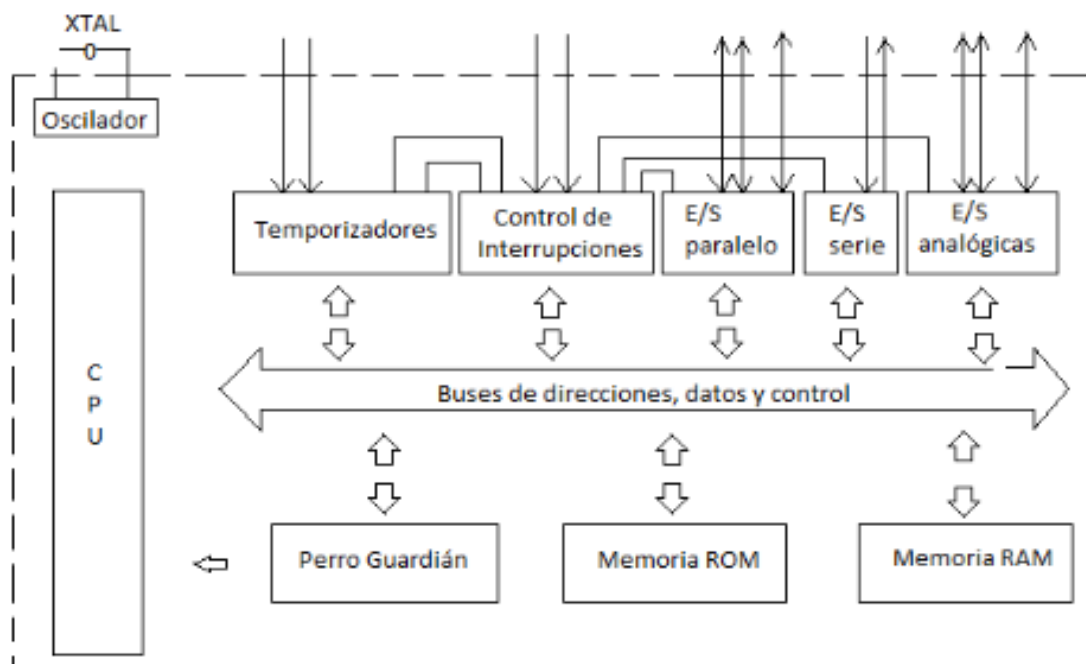


Figura 8. Diagrama de bloques general de un microcontrolador (Ibraahim, 2008)

En la actualidad existen diferentes tipos de microcontroladores, que se adaptan a las necesidades de trabajo de cada usuario, por lo que se ha convertido de gran utilidad para la electrónica. Además, al trabajar con cualquier tipo de

microcontrolador su programación no cambia ya que se puede utilizar y realizar su programación en diversos tipos de lenguaje.

El sistema requiere de un dispositivo de programación, de tal manera que permita cambiar o modificar la codificación interna del programa, esto para futuras actualizaciones del prototipo, a como se puede observar en la Tabla 3.

Tabla 3. Comparación de varias plataformas de programación

Plataforma	Arduino UNO	Arduino Mega	PIC	
Microcontrolador	ATmega 328	ATmega 2560	16F877A	18F4550
Comunicación con PC	Serial	Serial	Serial	Serial
Entradas	14 digitales 6 analógicas	54 digitales 16 analógicas	Si	Si
Frecuencia máxima	16 MHz	16Mhz	20MHz	20 – 48 MHz
Memoria de datos	2,000 bytes RAM 1,000 bytes EEPROM	8,000 bytes RAM 4,000 bytes EEPROM	368 bytes RAM 256 bytes EEPROM	2,048 bytes RAM 256 bytes EEPROM
Instrucciones	32	32	35	77
Costo (\$)	23	25	6.68	8

Una vez analizadas las características de cada una de las plataformas se optó por el PIC16F877A², ya que se tomó en cuenta las características que posee, cumpliendo las necesidades que requiere el sistema, detalladas a continuación:

- Número de entradas y salidas digitales requeridas
- Memoria de almacenamiento con capacidad requerida
- Velocidad de procesamiento aceptable
- Bajo costo

1.6. Triac

Un Triac es un dispositivo de tres terminales usado para controlar la corriente promedio que fluye a una carga. Un Triac se diferencia de un tiristor (SCR) en que éste puede conducir corriente en cualquier dirección cuando está en estado encendido. Cuando el Triac está apagado, no puede fluir corriente entre las terminales principales sin importar la polaridad del voltaje aplicado externamente. (Maloney, 2006)

En términos generales, los triacs son parecidos a los tiristores (SCR), con excepción que los primeros pueden transportar corriente en cualquier dirección. Tanto los triacs como los tiristores (SCR) son miembros de la familia de los tiristores. El término tiristor abarca todos los dispositivos semiconductores que muestran un comportamiento de encendido-apagado inherente, contrario a permitir el cambio gradual en la conducción. Todos los tiristores son dispositivos de conmutación regenerativos que no puede funcionar de una manera lineal. Por tanto, un transistor no es un tiristor debido a que, a pesar de que puede operar como encendido-apagado, ésta no constituye su naturaleza inherente. (Maloney, 2006)

² Ver Anexo 5: Hojas de datos

Cuando el triac está en apagado, no puede fluir corriente entre las terminales principales sin importar la polaridad del voltaje aplicado externamente. En consecuencia, el triac actúa como un interruptor abierto. Cuando el triac está en encendido, existe una ruta de flujo de corriente de baja resistencia de una terminal hacia la otra, con la dirección del flujo dependiendo de la polaridad del voltaje externamente aplicado, en cualquier caso el triac actúa como un interruptor cerrado. (Maloney, 2006)

Los Triac poseen características similares, y la única diferencia es la alta corriente que soportan, los cuales se pueden apreciar en la Tabla 4.

Tabla 4. Selección del Triac

Parámetros	BTA-40	TSR100AA
$I_{T(RMS)}$	40 A	100 A
V_{DRM}/V_{RRM}	600 V Y 800 V	600 V Y 650 V
I_{GT}	50 mA	50 mA
Precio (\$)	6.67	Más de 100

Se consideró la opción de un Triac BTA-40³ capaz de soportar hasta 40 amperios de corriente que circulan por la ducha eléctrica, además que el precio es bastante accesible, en cambio el TSR100AA que soporta hasta 100 A de corriente es muy costoso, su precio es muy alto y es utilizado para aplicaciones industriales, en la Figura 9 se puede visualizar de forma física el Triac BTA-40.

³Ver Anexo 5: Hojas de datos



Figura 9. Triac BTA-40 (BTA-40, s.f.)

1.7. Sensor

El termino sensor se refiere a un elemento que produce una señal relacionada con la cantidad que se está midiendo. Por ejemplo, en el caso de un elemento para medir temperatura mediante resistencia eléctrica, la cantidad que se mide es la temperatura y el sensor transforma una entrada de temperatura en un cambio en la resistencia. Con frecuencia se utiliza el término transductor en vez de sensor. Los transductores se definen como el elemento que al someterlo a un cambio físico experimenta un cambio relacionado. Es decir, los sensores son transductores, sin embargo, en un sistema de medición se pueden utilizar transductores, además de sensores, en otras partes del sistema para convertir señales de una forma dada en otra distinta. (Bolton, 2013)

Los sensores han pasado de ser un componente mecánico aislados a ser un subsistema electrónico capaz de comunicarse con un sistema basado en microprocesadores, o integrado en dicho sistema y con capacidad de autodiagnóstico. Todos estos avances se han producido sin apenas desplazar a ninguno de los sensores clásicos. (Areny, 2003)

Las mediciones que con mayor frecuencia se encuentran en ingeniería mecánica son: desplazamiento, proximidad, velocidad, fuerza, presión, flujo de fluidos, nivel de líquidos, temperatura e intensidad luminosa, etc. (Bolton, 2013)

1.7.1. Sensor de temperatura

Los sensores de temperatura son dispositivos que transforman los cambios de temperatura en señales eléctricas que son procesados por un equipo eléctrico o electrónico. En la Tabla 5 se pueden apreciar tres tipos de sensores de temperatura, LM35, los termistores, y los RTD.

Tabla 5. Comparación de algunos sensores de temperatura

Sensor de temperatura	LM35	Termistor	RTD
Costo (\$)	2.4	11 – 50	16 – 53
Precisión	1°C	± 0.2 ° C	± 0,15 ° C - 0 ° C
Rango de temperatura	-50°C – 150°C	150°C a 450°C	-200°C – 600°C

Debido a la exactitud y el costo que nos brinda cada sensor se escogió la opción del LM35⁴ ya que el rango de temperatura que posee es el adecuado para su debida utilización en el prototipo y también fue seleccionado debido a su bajo costo.

⁴ Ver Anexo 5: Hojas de datos

1.8. Pantalla LCD

El diseño de sistemas micro controlados implica en algunos casos la visualización de datos al usuario, para este fin se pueden usar display 7 segmentos, display LCD de caracteres y display gráficos LCD. Los display de caracteres LCD, son módulos prefabricados que contienen controladores incluidos. Estos displays cuentan con un bus de datos y un bus de control. (Mendoza, 2011)

Los displays LCD, permiten graficar los caracteres contemplados en el código ASCII. Además del código ASCII, los displays LCD admiten graficar hasta 8 caracteres diseñados por el desarrollador, otra característica fundamental de los LCD, es la conexión del bus de datos, físicamente tienen 8 bits, pero es posible configurar las conexiones con solo 4 bits. La conexión de 8 bits implica una mayor cantidad de cables para su uso, pero la velocidad de trabajo es mayor, por consiguiente la conexión de 4 bits minimiza las conexiones pero disminuye la velocidad de trabajo. (Mendoza, 2011)

Los displays de caracteres se fabrican en diversas formas y colores se pueden conseguir con pantallas de color verde, azul, y amarillo. Se fabrican con distribuciones de caracteres de forma matricial como 2 filas, 16 columnas estos se conocen como 2x16, y de la misma forma se pueden encontrar de 1x16, 2x16, 2x8, 2x20, 4x20, entre otros. (Mendoza, 2011)

La pantalla LCD es de gran importancia para el proyecto ya que permite a los usuarios, en este caso a la persona discapacitada visualizar los comandos que se encuentren activados ya sea el encendido y apagado de la ducha, el control de temperatura y el control del flujo del agua, en la siguiente tabla se detalla las características de los LCDs que se consideraron.

Tabla 6. Selección de pantalla LCD

Pantalla LCD	16X1	16X2	16X4
Alimentación	4,7-5,3 [V]	4,7-5,3 [V]	4,7-5,3 [V]
Pin de datos	8	8	8
Ajuste de contraste	Con resistencia variable	Con resistencia variable	Con resistencia variable
Corriente	100 [mA]	120 [mA]	280 [mA]
Filas	1	2	4
Columnas	16	16	16

Tomando en cuenta los estados que se necesitan visualizar se seleccionó una pantalla LCD 16X2⁵ ya que son económicos y fáciles de usar, el cual, se puede apreciar en la Figura 10.

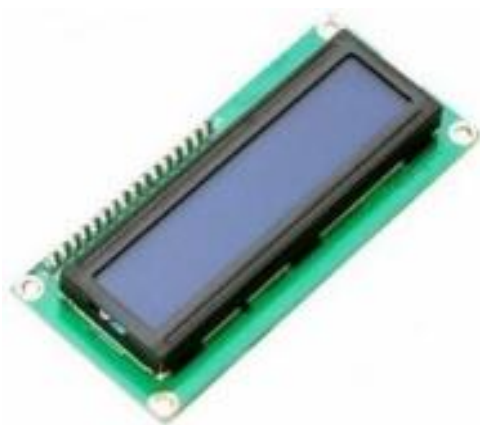


Figura 10. Pantalla LCD (16X2, s.f.)

⁵ Ver Anexo 5: Hojas de datos

1.9. Reconocimiento de voz

La generación del habla por parte de las personas, consiste en la creación de una onda de presión sonora que se propaga a través del aire a una velocidad de unos 340 metros por segundo. La concatenación de unos determinados sonidos y en orden prefijado, característicos de cada idioma, constituyen el mensaje. (Zanuy, 2000)

En la situación ideal, la tecnología debería permitir que las personas dieran información en el sistema hablándole exactamente de la misma forma que lo haría a otra persona. Esto ha demostrado ser un problema mucho más difícil de lo que se preveía cuando se empezó a investigar en estos temas, pero el estado actual de los productos ya disponibles comercialmente han demostrado ser más suficiente para resolver multitud de problemas prácticos en la industria. (Bustio, 1994)

Sin embargo, la utilidad de un sistema de reconocimiento de la voz puede ser mejorada en gran manera facilitando al sistema la propiedad de no solo entender al operario, sino también hablarle, lo cual puede hacer si equipamos a la unidad con un sintetizador de voz. (Bustio, 1994)

La gran utilización que hoy en día se está haciendo de los sistemas de identificación automática, revela hasta qué punto las empresas necesita automatizar la captura de datos en sus procesos. (Bustio, 1994)

Todos los sistemas son susceptibles de incluir errores, especialmente si hay algún operador humano implicado. Los errores en este tipo de sistemas pueden ocurrir, debido que el operador puede poner el dato incorrectamente, o bien porque sea el sistema quien lo interprete incorrectamente. (Bustio, 1994)

El sistema requiere de un dispositivo electrónico que permita reconocer señales de voz, para así, poder entrelazar una comunicación hombre-máquina.

Adicionalmente el dispositivo debe poseer características las cuales permitan adaptarse al PIC ya que a través de éste se controlará y manipulará cada uno de los elementos de salida que requiere el proyecto. En la siguiente tabla se muestra los dispositivos electrónicos de reconocimiento de voz previamente estudiados.

Tabla 7. Comparación de módulos reconocimiento de voz

Módulo	Voice Recognition v3	Easy VR Shield
Compatible	Tarjeta Arduino y PIC	Arduino y PIC
Reconocimiento de palabras	Una sola palabra	Más de una palabra
Modos	Dependiente del habla	Dependiente del habla e independiente del habla
Alimentación	4,5 – 5,5 [V]	3,3 – 5 [V]
Corriente	Menor a [40 mA]	12 [mA]
Softwares	Access port	Easy Commander Quick T2SI TM

Se usó el módulo de reconocimiento de voz EasyVR Shield⁶, ya que se puede adaptar al PIC y debido que uno de los objetivos nos refleja que tenemos que realizar el proyecto mediante un microcontrolador y también realiza el reconocimiento para cualquier tipo de voz, como se aprecia en la Tabla 8. No existen grandes cantidades de módulos reconocedores de voz. El módulo seleccionado se puede apreciar en la Figura 11.

⁶ Ver Anexo 5: Hojas de datos

Características:

- 26 comandos predefinidos (Speaker Independent) (disponible en inglés US, italiano, japonés, alemán, español y francés) para ejecutar los controles básicos
- Soporta hasta 32 comandos o triggers definidos por el usuario (SD) en cualquier idioma, así como contraseñas de voz
- Fácil de usar y la interfaz gráfica de usuario fácil de programar comandos de voz para su robot
- Fácil de usar con una interfaz gráfica simple para que programes tus comandos de voz
- El módulo puede ser utilizado con cualquier otro microcontrolador con una interfaz UART (alimentado a 3.3V - 5V)
- Compatible con Arduino UNO, Mega, Leonardo y Due.
- Protocolo serie simple y robusto para acceder y programar el módulo a través del Arduino.
- Crea tus propias tablas de sonido con la herramienta Sensory QuickSynthesis4
- La nueva interfaz gráfica del EasyVR incluye un comando para procesar y descargar tablas de sonido personalizados al módulo (sobreescribe las tablas de sonido existente)
- Conector de entrada de micrófono
- 8 ohm de salida del altavoz
- Conector de auriculares
- LED que muestra retroalimentación del procesamiento de reconocimiento al usuario
- Librerías para Arduino



Figura 11. Módulo EasyVR (Shield, s.f.)

CAPITULO II. ANALISIS Y PRESENTACION DE LOS RESULTADOS

2.1. Diseño metodológico

La investigación fue de tipo aplicada, ya que fue dirigida a la solución de un problema, como es la dificultad que tienen las personas con discapacidad en las extremidades inferiores y no videntes de utilizar la ducha eléctrica. El método utilizado fue el método experimental, donde la fase descriptiva fue la que ayudó a identificar y analizar el problema en cada una de sus partes, y así tener un acercamiento mayor al mismo. Este proyecto se realizó en cuatro fases las cuales son las siguientes:

En la primera fase, se realizaron encuestas a personas discapacitadas con problemas en las extremidades inferiores y no videntes. Así como también, los diseños de los circuitos de la fuente de alimentación, acondicionadores de señal e interfaces de entrada y salida del prototipo, y el sistema de control del prototipo de la ducha eléctrica, simulando estos diseños.

En la segunda fase, se diseñaron los algoritmos que conforman el sistema de control del prototipo de la ducha eléctrica. Posteriormente dichos algoritmos se implementaron en un microcontrolador, donde el código elaborado fue probado por medio de simulaciones y por pruebas en tabla de nodos.

En la tercera fase, se construyó el sistema total en tarjeta PCB para la elaboración de las respectivas pistas del prototipo, luego se desarrollaron varias pruebas para analizar el desempeño del sistema total.

En la cuarta fase, se realizaron las pruebas finales del sistema total logrando grandes resultados, entre ellas se refleja la eficiencia del sistema y el impacto que tiene en la sociedad al estar en pro del medio ambiente.

2.2. Aplicación y análisis de encuestas a personas discapacitadas en el Hogar de Ancianos de Jinotepe, Carazo.

Se realizó una encuesta⁷ a una muestra de 20 personas siendo la mayoría de este grupo, personas con discapacidad, acerca de una ducha eléctrica con reconocimiento por voz y la utilidad que puedan tener al utilizarla. En los resultados de esta encuesta⁸ se reflejó que estas personas deseaban tener la facilidad de tomarse un baño de forma automática sin realizar un mayor esfuerzo, evitando la necesidad de ayuda de terceras personas reflejando que el 100% de las personas encuestadas contestaron que sí.

De igual forma, se les preguntó a las personas encuestadas acerca de la importancia que tendría la ducha para personas con discapacidad en la parte inferior de su cuerpo respondiendo la mayoría que sería muy importante este sistema para estas personas.

Asimismo, el 85% de estas personas les pareció excelente la idea de la ducha controlada por comandos de voz, con el mismo porcentaje respondieron que la idea les pareció interesante e innovador, y con el 85% las personas encuestadas contestaron que el proyecto estaba perfecto, siendo el resultado por parte de éstas personas el esperado.

De acuerdo, a los resultados de las encuestas se obtuvieron los requerimientos más importantes que dichas personas necesitaban en cuanto a tomarse un baño, siendo los requerimientos necesitados los siguientes: control del encendido y apagado del sistema, al igual que el control de flujo de agua y temperatura de la ducha, todo controlado por comandos de voz.

⁷ Ver Anexo 1: Encuesta

⁸ Ver Anexo 2: Resultados de la encuesta

2.3. Diagrama de bloques del sistema total

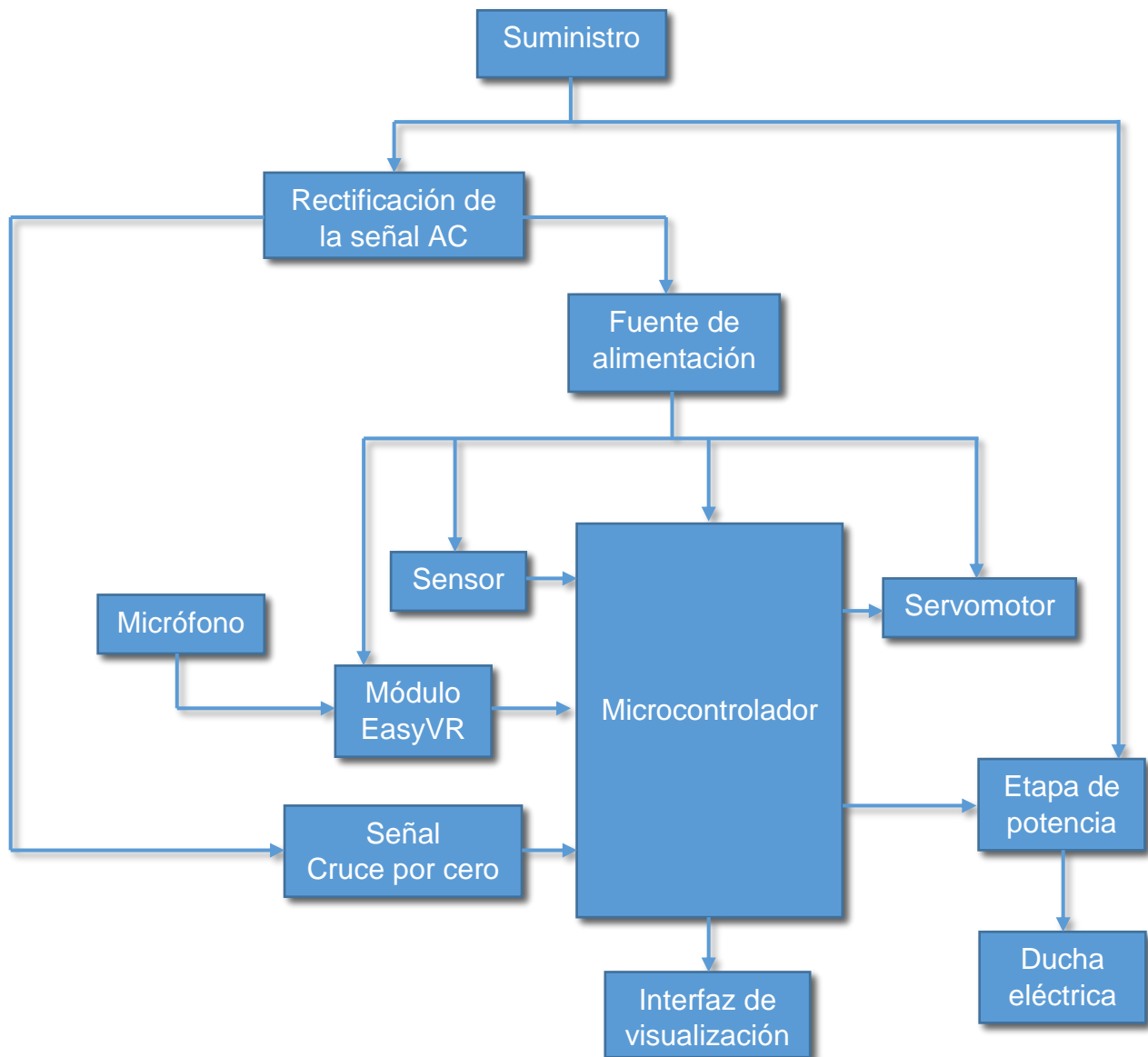


Figura 12. Diagrama de bloques del sistema total

El diagrama de bloque de la Figura 12 muestra los distintos bloques que conforman al prototipo, resaltando los más importantes como son: sensores, micrófono, servomotor, microcontrolador, interfaz de visualización, etc.

2.4. Diseño de la fuente de alimentación

La fuente para el sistema total debe de ser capaz de alimentar a todo el sistema con un voltaje de 5V DC.

2.4.1. Cálculos de la fuente de 5V DC

Se trabajó con el suministro eléctrico el cual es 120V AC, el transformador tiene una relación de 10:1 con capacidad de 3A. Por lo tanto, nos entrega en el secundario 12V AC, para rectificar la señal se usó un puente de diodos con capacidad de 4A, y para regular el voltaje se usó el regulador LM7805.

Se utilizó un puente de diodos para la etapa de rectificación de la onda. Para el cálculo del condensador se debe tomar en cuenta el voltaje máximo, donde es el voltaje proveniente del transformador.

$$V_S = \frac{\text{Suministro}}{n} \text{ Ec. 15}$$

$$V_S = \frac{120V}{10}$$

Donde el numero 10 es la relación de vueltas del transformador

$$V_S = \frac{120V}{10} = 12 \text{ V r. m. s}$$

$$V_{SP} = V_S * \sqrt{2} \text{ Ec. 16}$$

$$V_{SP} = 12 * \sqrt{2} = 16.97 \text{ V}$$

$$V_{OP} = V_{SP} - 1.4V \text{ Ec. 17}$$

$$V_{OP} = 16.97 - 1.4V$$

Se le resta 1.4V ya que es el voltaje consumido del puente rectificador de la onda proveniente del secundario del transformador.

$$V_{OP} = 16.97 - 1.4V = \mathbf{15.57V}$$

$$I_{LP} = \frac{V_{OP}}{162\Omega} \text{ Ec. 18}$$

$$I_{LP} = \frac{15.57V}{162\Omega}$$

Donde la resistencia de 162Ω se asume

$$I_{LP} = \mathbf{100 \text{ mA}}$$

$$V_r = \frac{I_{LP}}{2fC} \text{ Ec. 19}$$

$$V_r = \frac{100mA}{2 * 60 * 1000\mu F}$$

$$V_r = \mathbf{0.833V}$$

$$V_{prom} = V_{OP} - \frac{V_r}{2} \text{ Ec. 20}$$

$$V_{prom} = 15,57V - \frac{0.833V}{2} = \mathbf{15.15V}$$

Para determinar el valor del condensador se utilizó la siguiente ecuación y reemplazando tendríamos:

$$C = \frac{10 * I}{f * V_S} \text{ Ec. 21}$$

Donde:

I : Corriente máxima del transformador

f : Frecuencia de la red

V_S : Voltaje máximo calculado

Reemplazando los valores correspondientes en la ecuación anterior obtuvimos el valor del condensador electrolítico.

$$C = \frac{5 * 1A}{60 * 16.27}$$

$$C = \frac{5 * 1A}{60 * 16.27} = \mathbf{5,121.90 \mu F}$$

El valor del filtro calculado no es un valor comercial por tal razón se trabajó con un condensador de 1,000uF el cual funciona perfectamente.

Después del filtro se requiere un regulador de voltaje, en este caso el LM7805⁹ que nos brinda 5V DC a la salida, este regulador es fijo y de esta manera se consigue obtener el voltaje lineal deseado, pero el consumo de todos los componentes es demasiado grande para usar un solo regulador LM7805 y el servomotor generaba un poco de ruido eléctrico. Por tal razón, se ideó en colocar dos reguladores de voltajes LM7805 donde uno de ellos está dedicado a alimentar únicamente al servo motor debido que el servomotor requiere una gran cantidad de corriente para operar.

Luego de la etapa de rectificación se colocaron 2 capacitores electrolíticos de 1,000uf y así poder poner los dos reguladores LM7805. De la misma manera al igual que en caso anterior se coloca un capacitor de 0,1uF tanto en la entrada como en la salida de cada regulador, ya que actuarán como filtro que se encargará de minimizar el ruido y las caídas de tensión provocadas por el capacitor. Asimismo, se introdujeron 2 diodos uno para cada regulador, los cuales, sirven como diodos de protección, todo lo descrito anteriormente se puede apreciar en la Figura 13.

⁹ Ver Anexo 5: Hojas de datos

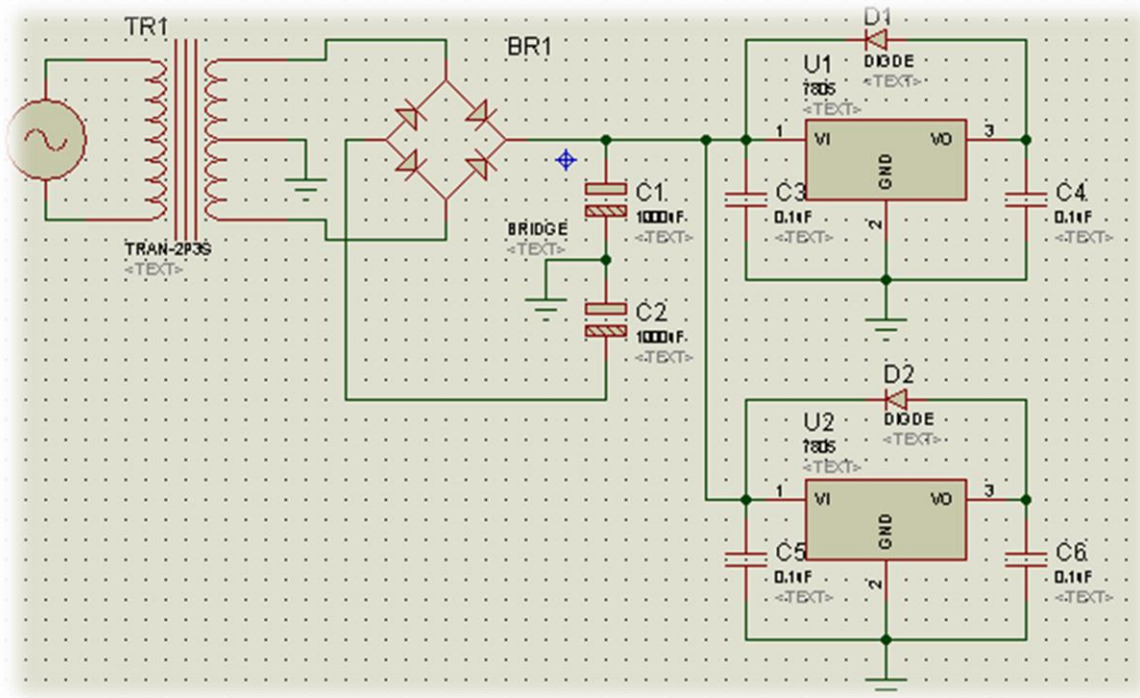


Figura 13. Fuente de 5V DC

2.5. Diseño del circuito de control

El circuito de control del proyecto contiene un servomotor que se encarga de mover la llave de paso de agua permitiendo el control del flujo del agua en tres estados denominados Máximo, Medio, y Cerrado. El servomotor está conectado como una salida del microcontrolador y es manipulado a través del módulo de reconocimiento de voz.

También consta de la elaboración de un controlador, el cual, como su nombre lo indica, permite controlar la temperatura del agua en tres estados denominados Fría, Tibia, y Caliente. Estos estados son controlados por medio de comandos de voz con la ayuda del módulo de reconocimiento de voz a través del microcontrolador, en la Figura 14 se aprecia en diagrama de bloques el circuito de control.

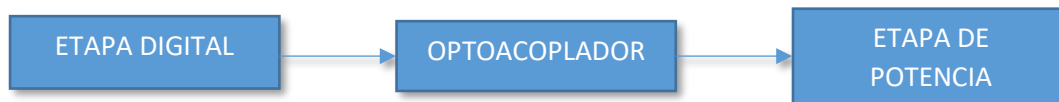


Figura 14. Diagrama de bloques del circuito de control

2.5.1. Circuito detector del cruce por cero

La transmisión de señales digitales en la corriente alterna (AC), es imposible sin la asistencia de un detector de cruce por cero. Éstos, son circuitos eléctricos que detectan cuando la corriente alcanza el punto de cruce por cero de la onda sinusoidal del suministro. La Figura 15 muestra el circuito que determina el momento en que la señal alterna corta el eje o cuando el voltaje toma el valor de cero.

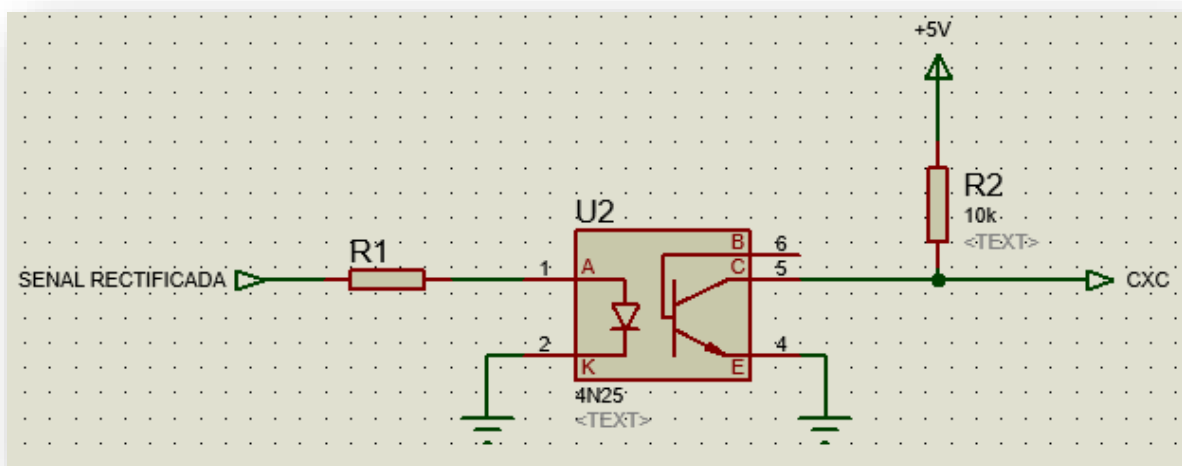


Figura 15. Circuito cruce por cero

El opto acoplador o detector de cruce por cero que se usó fue el 4N25¹⁰ donde el valor del resistor conectado al pin 1 mostrado en la Figura 16, consultando la hoja de datos del 4N25 encontramos que la corriente IF (Forward current) es de 60 mA y VF (Forward voltage) de 1.5V necesarios para los cálculos del mismo.

$$R_1 = \frac{(V_{OP} - VF)}{IF} \text{ Ec. 22}$$

$$R_1 = \frac{(15.57 \text{ VDC} - 1.5 \text{ VDC})}{60 \text{ mA}} = \mathbf{234.5 \, \Omega}$$

El valor comercial es 270Ω.

R_2 se toma de la gráfica que nos proporciona el fabricante, dicho valor es $R_1 = 10k$.

En el Figura 16 se muestran la señal del cruce por cero (señal de color azul) junto a la señal AC rectificada (señal de color amarillo).

¹⁰ Ver Anexo 5: Hojas de datos

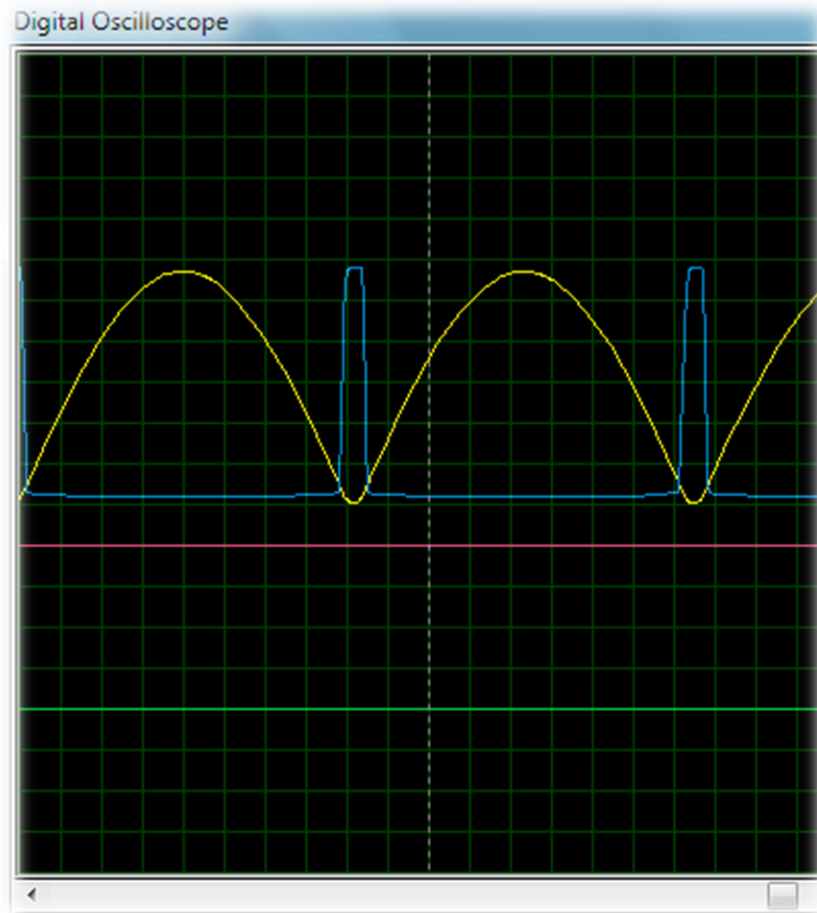


Figura 16. Señal de cruce por cero

En la gráfica de las señales podemos ver que cuando la señal alterna corta el eje se genera un pulso, producto de la comparación de una señal alterna rectificada y un nivel de voltaje, el cual controla el ancho del pulso. Este pulso debe ser de corta duración, para disminuir el error, pero lo suficientemente ancho para que sea reconocido.

2.5.2. Circuito de potencia

Para esta etapa se utilizó un optotriac 3010 el cual ayuda a transmitir señales entre circuitos de diferentes potenciales e impedancias, es decir, aísla el circuito de control del circuito de potencia, evitando de esta manera que no se dañe la etapa de control al producirse cualquier tipo de anomalía eléctrica en la etapa de potencia, así como cortocircuitos, sobrecargas, etc. En la Tabla 8 se muestran las características principales del MOC3010.

Tabla 8. Características principales del MOC3010

Símbolos	Significado	Rango	Unidad
VR	Voltaje de conducción	3	V
IF	Corriente de conducción	60	A
I _{TSM}	Pico de sobre corriente	1	A

Hay que tomar en cuenta que el MOC3010¹¹ no solamente sirve de aislamiento entre el circuito de control y el circuito de potencia, también sirve de acoplamiento a la señal que entrega el PIC para que produzca el disparo al Triac BTA-40.

¹¹ Ver Anexo 5: Hojas de datos

2.5.2.1. Cálculos del circuito de potencia

En la Figura 17 se aprecia el circuito de la parte de potencia.

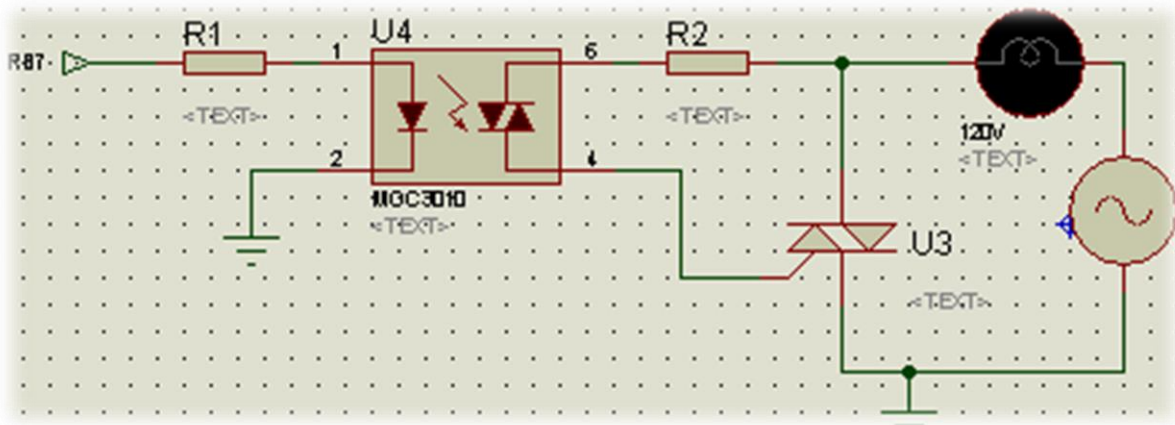


Figura 17. Etapa de potencia

La R_2 limita la corriente a través del opto acoplador. La corriente pico I_{TMS} determina el valor R_2 . Considerando una tensión de red de 120V AC cabe esperar a un pico de tensión de $V_{in(pk)}$.

$$V_{in(pk)} = 1.2 * 120V * \sqrt{2} \text{ Ec. 23}$$

$$V_{in(pk)} = 1.2 * 120V * \sqrt{2} = \mathbf{203.65 V}$$

Con lo cual, se obtiene el valor de R_2 .

$$R_2 = \frac{V_{in(pk)}}{I_{TMS}} \text{ Ec. 24}$$

$$R_2 = \frac{203.65 V}{1 A} = 203.65 \Omega \approx \mathbf{220\Omega}$$

El valor $I_{TSM} = 1 A$ se obtiene en la hoja de datos.

$$R_1 = \frac{V_{in}}{0.15mA} \text{ Ec. 25}$$

$$R_1 = \frac{5V \text{ DC}}{0.15mA} = 333.3\Omega$$

Donde el circuito de control total se aprecia en la Figura 18.

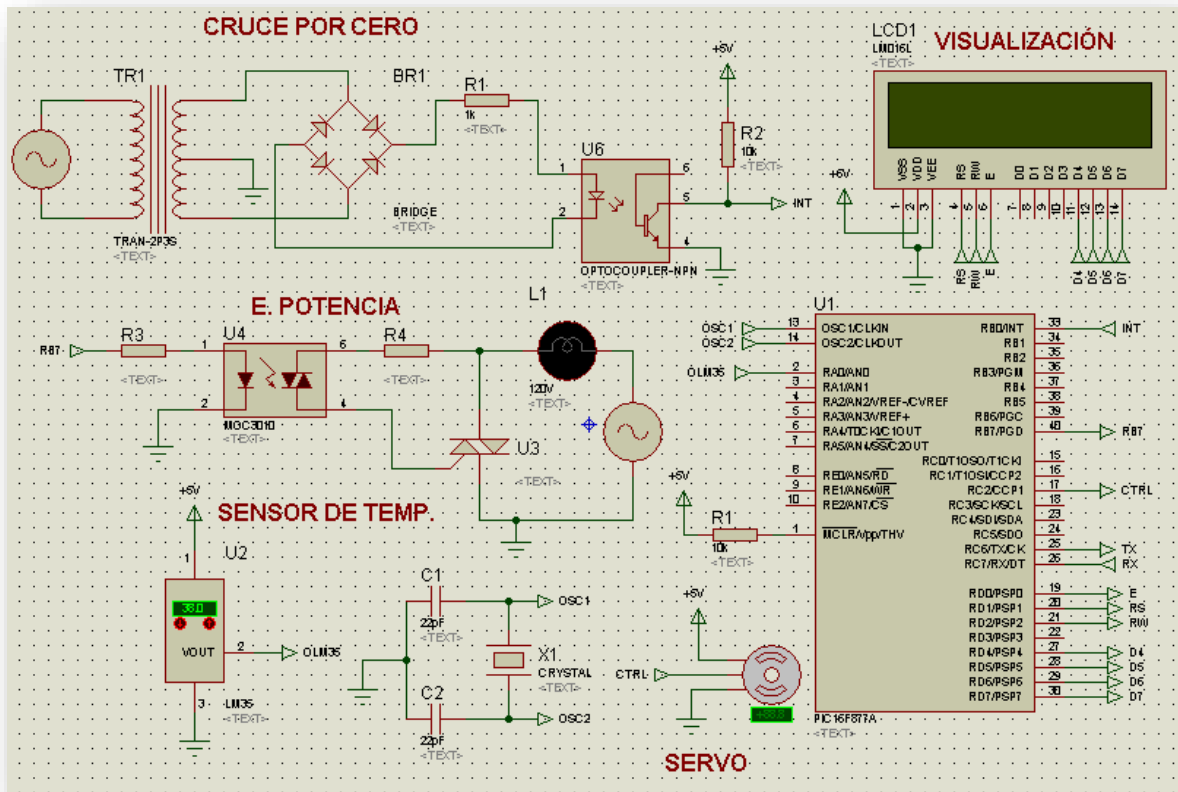


Figura 18. Circuito del prototipo sin el módulo EasyVR

Cabe aclarar que la lámpara que se aprecia en la Figura 19, representa a la ducha eléctrica, ya que el software donde se realizó la respectiva simulación, el cual, fue Proteus, no posee una ducha eléctrica como herramienta a usar.

2.6. Diseño del controlador digital PID

Para la implementación y simulación del controlador PID se utilizó el software ISIS Proteus. Este software ofrece el modelo esquemático de un sistema de calefacción denominado OVEN, al cual se le pueden variar sus características funcionales tales como: Temperatura ambiente de trabajo, resistencia térmica, constante de tiempo de establecimiento, constante de tiempo de calentamiento, coeficiente de temperatura y Potencia de calentamiento.

Para facilidades de simulación se establecieron los siguientes valores de parámetros funcionales del modelo OVEN, es decir, se asumieron dichos valores:

- Temperature Ambient ($^{\circ}\text{C}$): Temperatura ambiente se dejó en 25 grados Celsius.
- Thermal Resistence to Ambient ($^{\circ}\text{C}/\text{W}$): Resistencia térmica horno-ambiente, se ajusta al mismo valor por defecto, 0.7
- Oven Time Constant (sec): Es la constante de tiempo del horno, para evitar una larga simulación se ajusta a 10 segundos.
- Heater Time Constant (sec): Es la constante de tiempo del calefactor para evitar una larga simulación se ajusta a 1 segundo.
- Temperature coefficient ($\text{V}/^{\circ}\text{C}$): Es la temperatura que alcanzara el horno según la tensión aplicada, valor de $1\text{V}/^{\circ}\text{C}$.

Los valores anteriormente explicados fueron asumidos, ya que este modelo (OVEN) es similar a muchos sistemas de la vida real, es decir, el comportamiento que muestra en simulación este modelo, es similar al comportamiento que se efectúa en la vida real. Sin embargo, su respuesta en simulación no es exactamente la misma que en pruebas reales, pero es bastante similar en cuanto a la forma de onda y el tiempo de respuesta. Por tal razón, se decidió realizar solo simulación.

El modelo esquemático OVEN contiene un terminal sensor T que entrega un voltaje proporcional a la temperatura del sistema. De acuerdo a los parámetros establecidos anteriormente, este terminal entregara $1V/^{\circ}C$, es decir, para una temperatura de $100^{\circ}C$, el terminal T entregara 100V.

Para obtener la respuesta del sistema en lazo abierto ante una entrada escalón (curva de reacción), se utilizó el sistema de análisis interactivo de ISIS Proteus *Interactive Analysis* (Graph Mode Tool), el cual interactúa con el sistema OVEN mediante el uso de un *Voltage Probe1* OV1(T), según se muestra en la Figura 19. Para realizar la entrada escalón de 0V a 2V se utilizó un interruptor SW1.

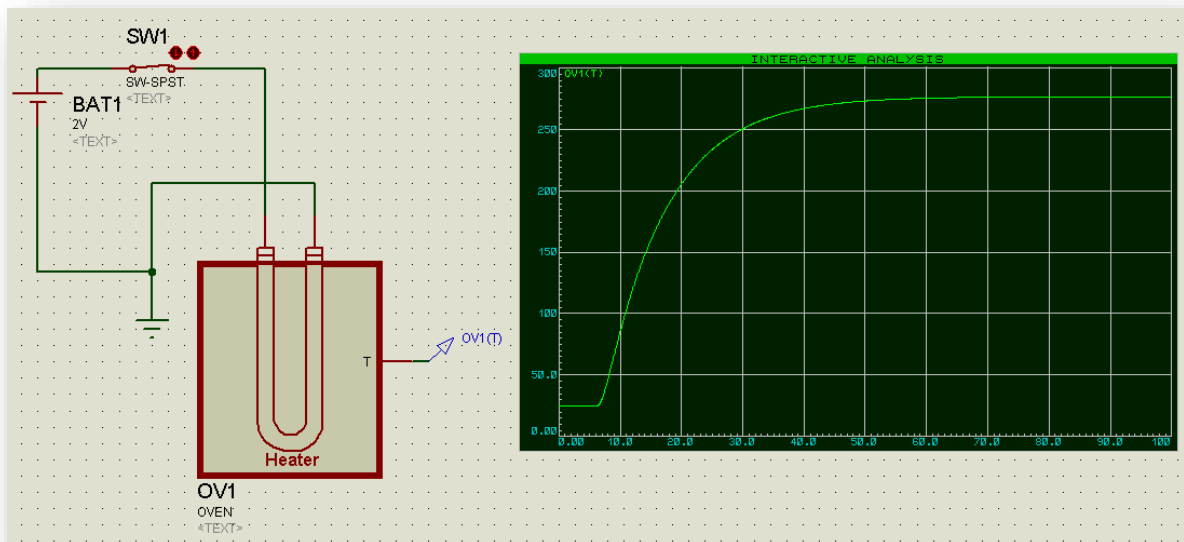


Figura 19. Respuesta ante una entrada escalón

De la recta de máxima pendiente se dedujeron los parámetros τ_0 , γ_0 y k_0 definidos por el análisis en lazo abierto de Ziegler-Nichols como se muestra en la Figura 20.

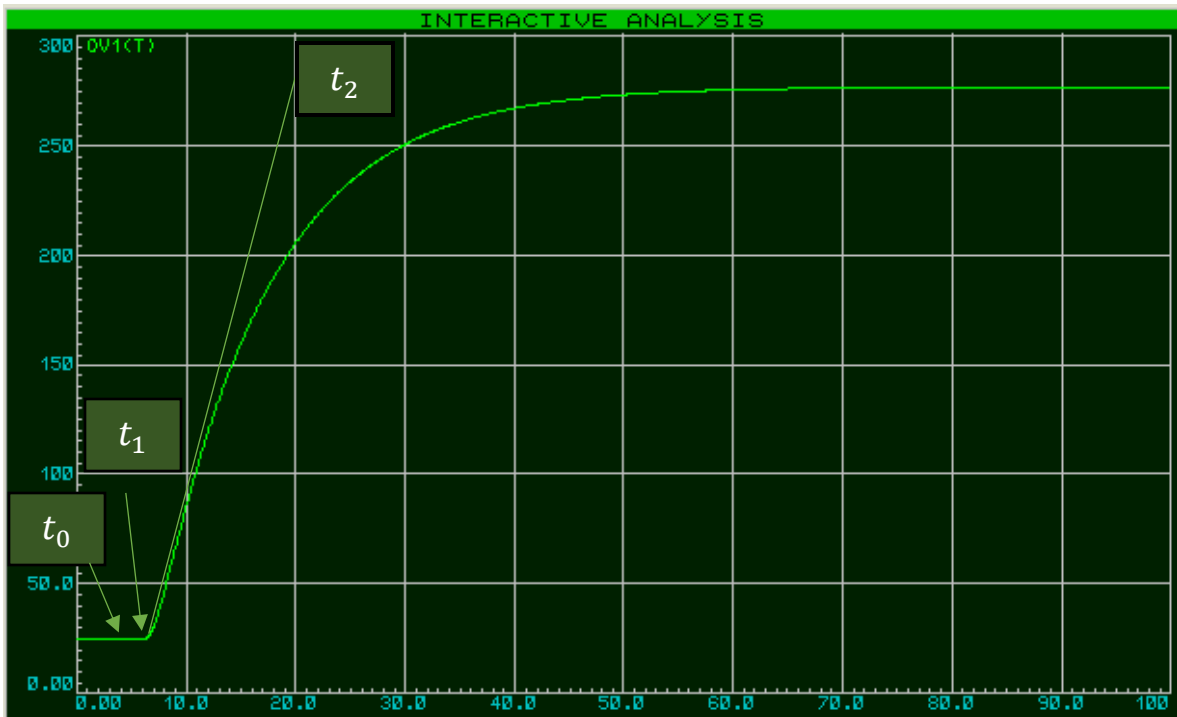


Figura 20. Determinación de los parámetros τ_0 , γ_0 y k_0

Utilizando la Figura 3 dada por Ziegler-Nichols se encuentran los siguientes valores para cada parámetro:

$$\tau_0 = t_1 - t_0 = 6.73 - 5.86 = 0.87$$

$$\gamma_0 = t_2 - t_1 = 20.6 - 6.73 = 13.87$$

$$k_0 = \frac{y_1 - y_0}{u_1 - u_0} = \frac{277 - 25}{2 - 0} = 126$$

Por tanto, el modelo del sistema de calefacción queda definido así:

$$G(s) = \frac{K_0 e^{-s\tau_0}}{1 + \gamma_0 s} = 126 \frac{e^{-s}}{1 + 13.87s}$$

Los parámetros K_p , T_i y T_d se calculan según la Regla de Sintonización de Ziegler-Nichols basada en la respuesta al escalón:

$$K_p = 1.2 \frac{\gamma_0}{k_0 \tau_0} = 1.2 \frac{13.87}{(126)(0.87)} = \mathbf{0.1518}$$

$$T_i = 2\tau_0 = 2 * 0.87 = \mathbf{1.74}$$

$$T_d = 0.5\tau_0 = 0.5 * 0.87 = \mathbf{0.435}$$

Reemplazando los valores de K_p , T_i y T_d en las ecuaciones dadas anteriormente, y estableciendo un periodo de muestreo $T = 0.1s$ según Ziegler-Nichols y siendo el criterio $T < \tau_0/4$, los parámetros del controlador discreto son:

$$a = K_p = \mathbf{0.1518}$$

$$b = \frac{K_p T}{T_i} = \frac{(0.1518)(0.1s)}{1.74} = \mathbf{0.0087}$$

$$c = \frac{K_p T_d}{T} = \frac{(0.1518)(0.435)}{0.1} = \mathbf{0.6613}$$

Una vez encontrados estos parámetros se procedió a su respectiva prueba y se llegó a la conclusión de variar un poco los parámetros para que el sistema actuara mucho mejor, cambiando los valores de los parámetros a los siguientes:

$$\mathbf{a = 0.1243}$$

$$\mathbf{b = 0.0062}$$

$$\mathbf{c = 0.6215}$$

Con estos valores el sistema trabaja con un excelente desempeño y sobretodo eficiencia.

2.7. Realización de los algoritmos de programación

2.7.1. Servomotor

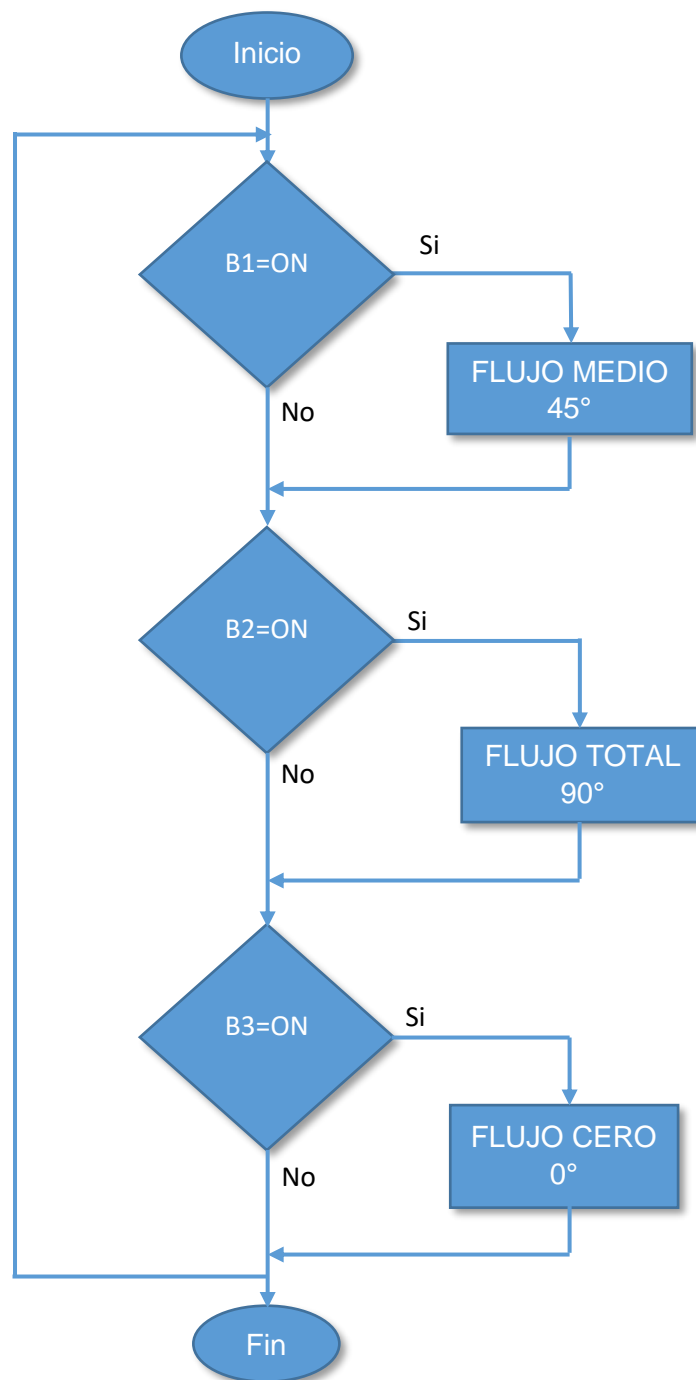


Figura 21. Algoritmo correspondiente al servomotor

Se realizaron pruebas usando 3 botones, los cuales, cada uno tenía su respectiva función. El servomotor usado se mueve 180 grados ya sea en contra o a favor de las manecías del reloj, las válvulas que existen en el mercado local son de 2 tipos, las cuales son las siguientes: de varias vueltas, y de apertura hasta 90 grados, se prefirió la válvula con apertura de 90 grados. Luego, se efectuaron pruebas pulsando los 3 botones previamente mencionados, cada uno con las siguientes funciones: Boton1 (B1) puesto a 45 grados, Boton2 (B2) puesto a 90 grados, y Boton3 (B3) puesto a 0 grados. Donde 45 grados se refiere a válvula medio abierta, 90 grados válvula totalmente abierta y 0 grados válvula cerrada.

Se decidió realizar tres aperturas de la válvula y no solo dos (abierta y cerrada). En Nicaragua la presión del agua en las tuberías puede que no sea tan potente, pero lo anterior cambia con el estado válvula medio abierta. Usando el estado de válvula medio abierta se logró economizar el vital líquido con respecto a válvula totalmente abierta. Asimismo, se obtuvieron grandes resultados de las pruebas de consumo de agua tomando en cuenta dos tiempos, con el fin de verificar la economía con el estado válvula medio abierta. Los tiempos que se seleccionaron fueron: 15 y 20 minutos, los cuales fueron, los tiempos aproximados que una persona puede tardar bañándose, dichos tiempos se seleccionaron de forma aleatoria.

Se logró grandes resultados en cuestión de economía del recurso vital, como es el agua, en comparación al estado válvula abierta, siendo bastante rentable usar el estado válvula medio abierta, para tomar un baño y así poder ahorrar un poco las grandes cantidades de agua que desperdiciamos todos los seres humanos a diario, los detalles se aprecian a continuación en la Tabla 9.

Tabla 9. Estados de la válvula

Estado de la válvula	Tiempo (minutos)	Consumo (Litros)
Válvula abierta	15	62
	20	78
Válvula medio abierta	15	53
	20	64

2.7.2. Calentador de la ducha eléctrica

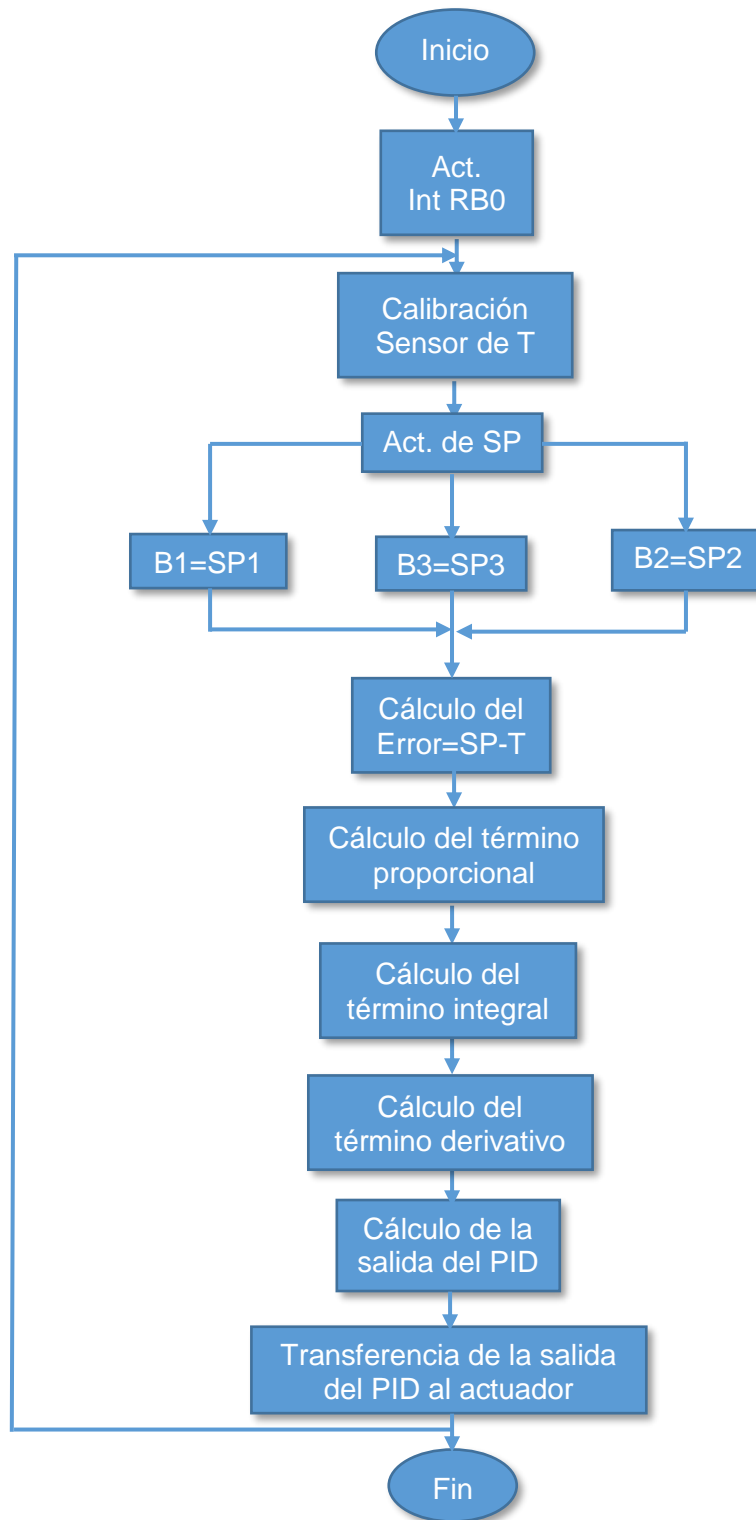


Figura 22. Algoritmo correspondiente a calentador de ducha eléctrica

Primeramente, se activa la interrupción externa para así poder recibir la señal de cruce por cero, es decir, la señal senoide proveniente del suministro cada vez que cruza por cero, luego se calibra el sensor de temperatura LM35 convirtiendo la señal analógica a digital utilizando el ADC para así obtener los grados correspondientes del agua que fluye por la tubería, seguido de la activación de cada set point (valor de temperatura deseado) por medio de 3 botones correspondientes a los siguientes estados: agua fría, agua tibia, y agua caliente.

Luego se calculó el error del calentador que no es más que la resta del valor correspondiente que deseamos que se encuentre la temperatura del agua (set point) menos el valor de la temperatura del agua saliendo de la tubería (temperatura del sensor), después se realizaron las ecuaciones para determinar cada uno de los componentes que conforman el PID y luego cuando se obtiene el valor del PID entonces se envía el correspondiente valor por medio del Timer1, este valor será el pulso que permite la activación de la apertura del triac, el cual, pertenece a la etapa de potencia, permitiendo controlar la cantidad de corriente que se le envía a la carga en este caso a la ducha.

2.7.3. Módulo EasyVR

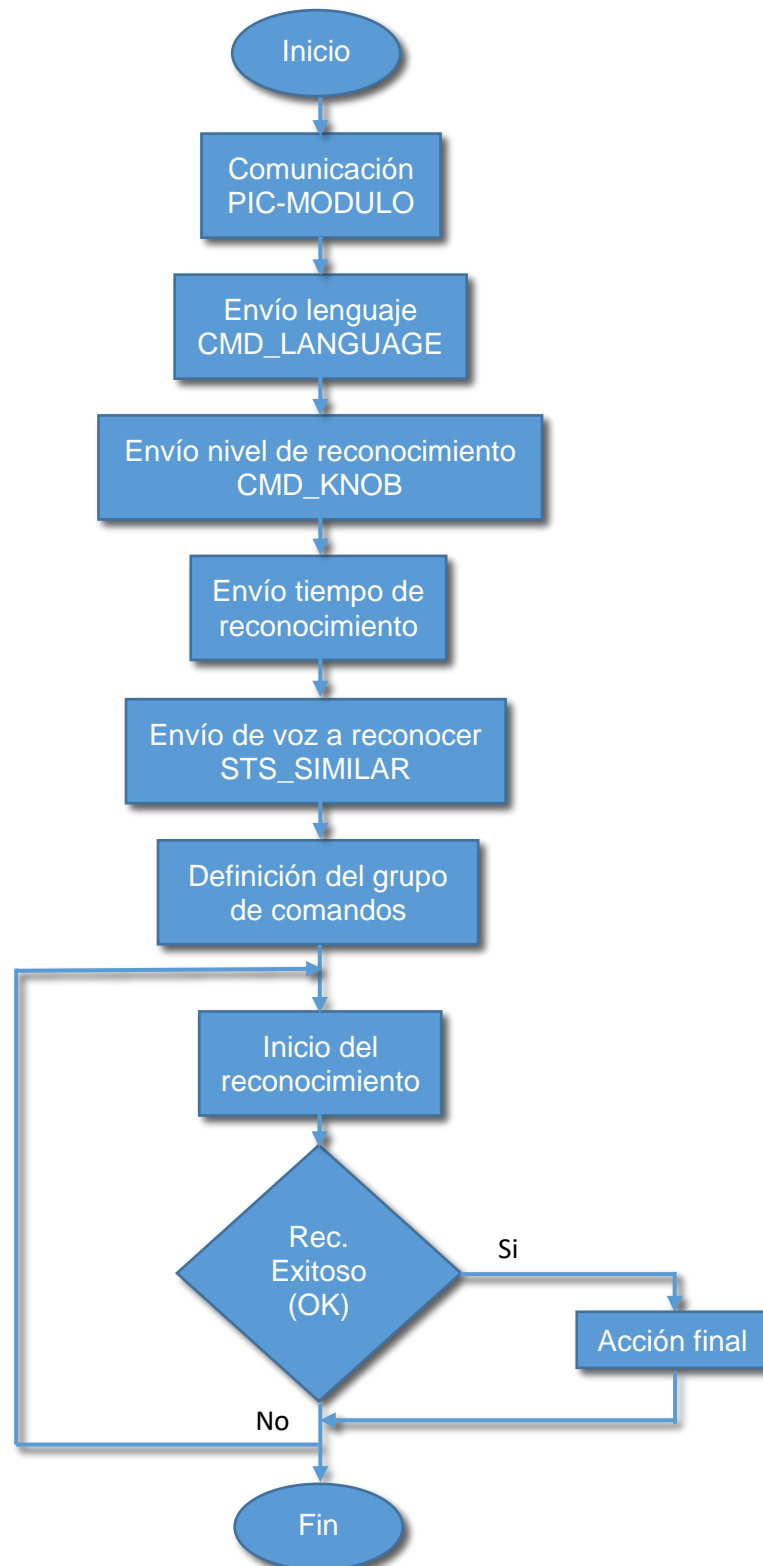


Figura 23. Algoritmo correspondiente a reconocimiento de voz

Inicia la comunicación serial del módulo con el microcontrolador PIC, luego envía el comando correspondiente al lenguaje a ser utilizado, seguido del nivel de reconocimiento del módulo donde pueden ser los siguientes: bajo (valor por defecto) o muy alto, luego se envía el comando referente al tipo de voz que escuchará, en esta sección los tipos de voz pueden ser dependiente o independiente del altavoz, es decir, para solo un tipo de voz o para cualquiera, se optó por la última, es decir, para cualquier tipo de voz, luego se envía el tiempo que esperará para reconocer los comandos, por último se define el grupo donde están concentrados los comandos a reconocer y de esta forma el módulo comienza a escuchar el tiempo que se le programó.

La Figura 24 muestra el programa gratuito llamado EasyVR Commander que nos ayuda a agregar comandos de voz (usado exclusivamente para una sola persona), ver los comandos predefinidos por el fabricante (Veer), entrenarlos, etc. Este programa es proporcionado por el fabricante.

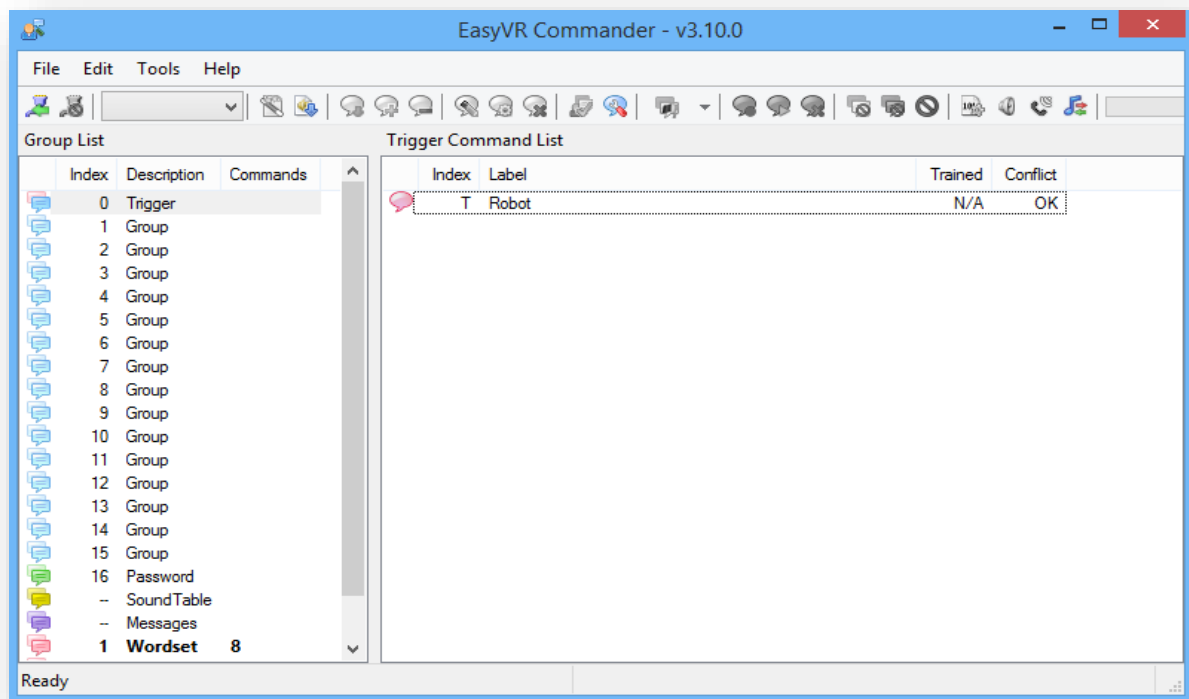


Figura 24. Software del EasyVR

En la siguiente imagen se muestran todos los grupos donde puedes ubicar hasta 32 comandos y pueden ser distribuidos en los 15 grupos que se muestran en la Figura 25. Estos comandos solo reconocerán la voz de la persona que entrenó dichos comandos, es decir, en estos grupos solo se pueden añadir comandos que son dependientes del locutor.

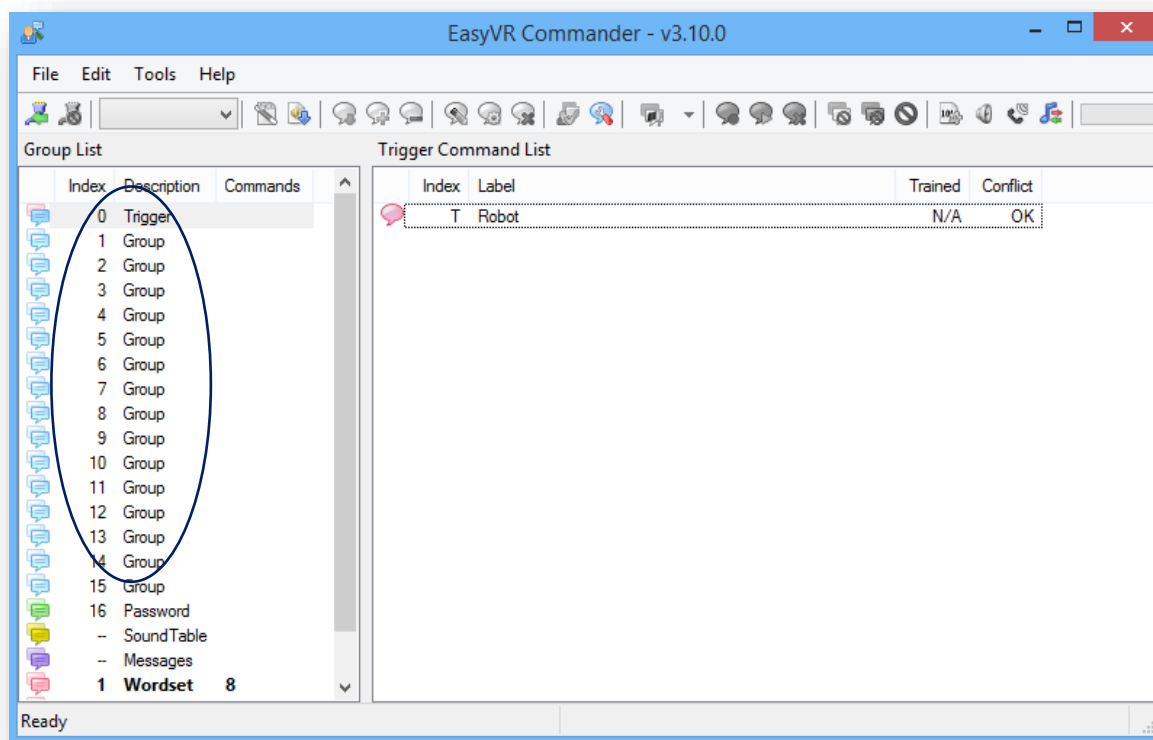


Figura 25. Grupos de comandos

Para este proyecto lo conveniente era que el sistema funcionara para cualquier persona, es decir, para cualquier tipo de voz, los comandos predefinidos son comandos independientes del locutor, en la siguiente imagen se mira el grupo 1 donde están alojados algunos comandos predefinidos por el fabricante, son tres grupos en total y cada grupo contiene comandos predefinidos como se mira en la Figura 26.

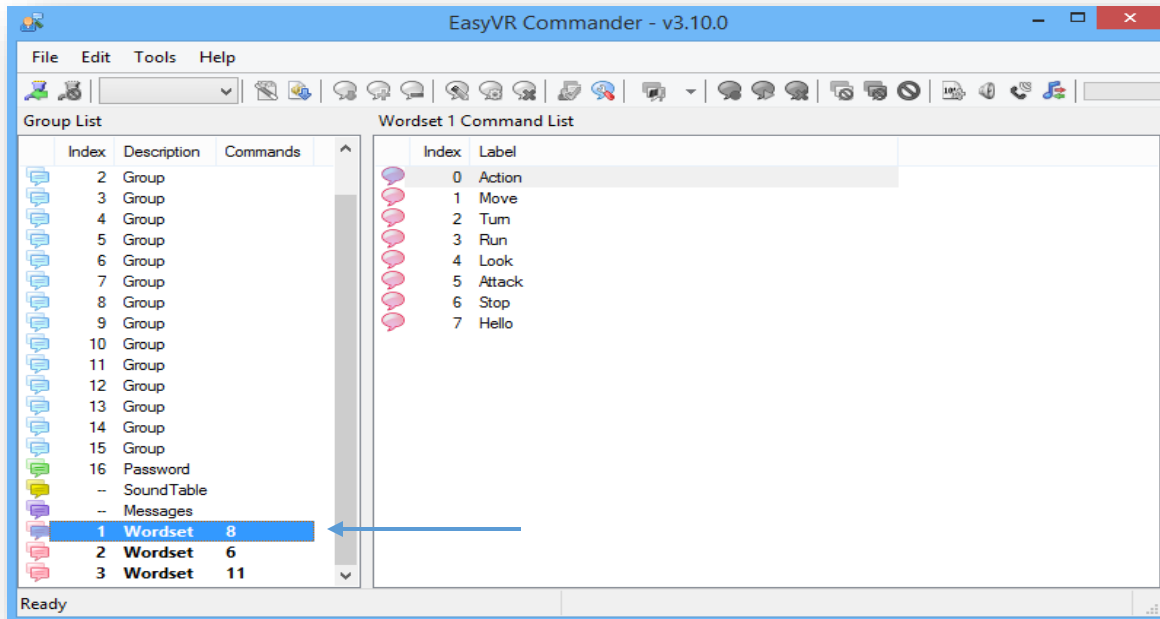


Figura 26. Wordset 1

En la Figura 27 se puede observar el Wordset 2, el cual, corresponde al grupo 2 de los 3 grupos donde se encuentran comandos predefinidos.

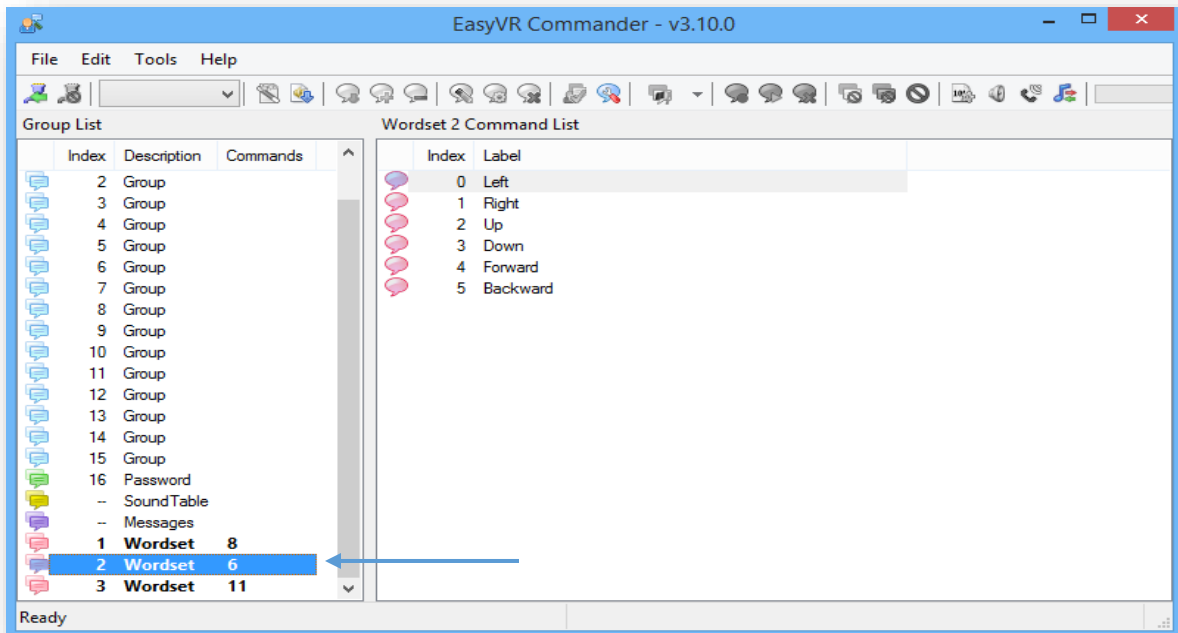


Figura 27. Wordset 2

Y el tercer grupo se puede apreciar el Wordset 3, el cual es, el grupo 3 donde se encuentran el resto de comandos predefinidos como se aprecia en la Figura 28.

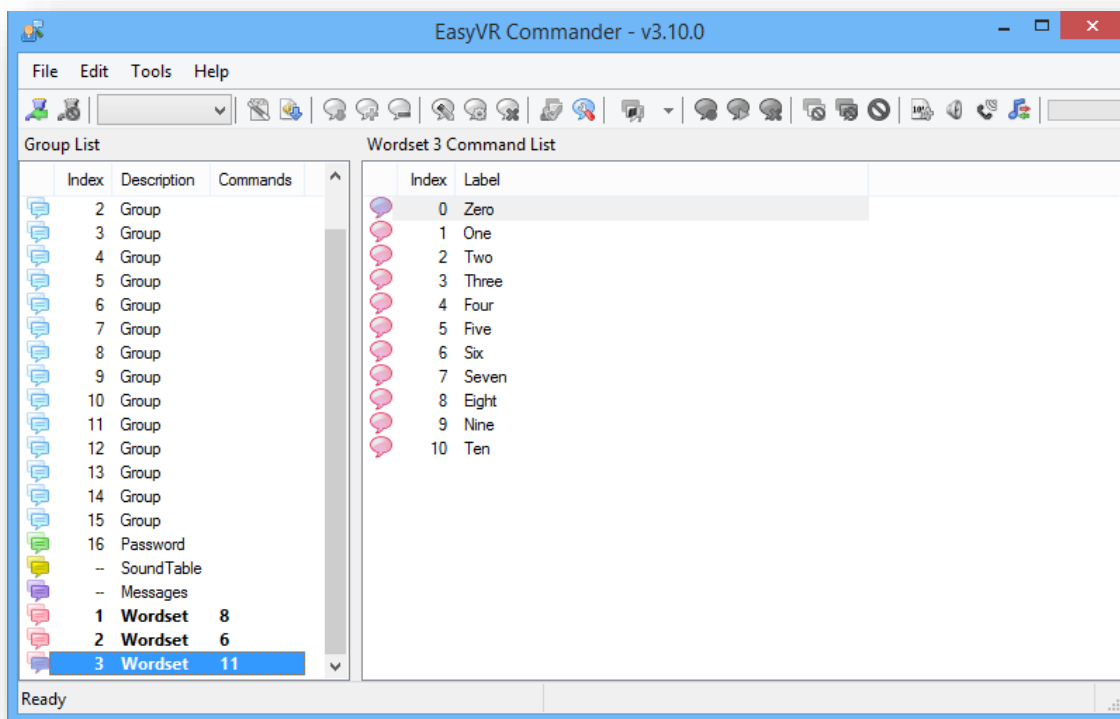


Figura 28. Wordset 3

2.8. Implementación del prototipo

La implementación del prototipo se realizó en un baño cuyo sistema eléctrico se encontraba en buenas condiciones, esto incluye un fusible o disyuntor dedicado especialmente al prototipo en general.

2.8.1. Implementación del módulo EasyVR

Debido a que el módulo EasyVR no se encontró en simulación en el programa Proteus, el cual, fue el programa que se manejó para el diseño del proyecto, todas las pruebas se tuvieron que hacer experimentales, es decir, a prueba y error.

Se realizaron muchas pruebas, ya que las programaciones con las cuales se estaba ensayando no estaban correctas, debido que el módulo EasyVR no iniciaba el reconocimiento de voz. Después de leer detenidamente el manual del módulo EasyVR, en un apartado mencionaba que en la parte inicial de la programación se tenía que poner un retardo para que el módulo iniciara a funcionar, luego le añadí el retardo y procedí a realizar la prueba para saber si el módulo funcionaría correctamente, el resultado fue que el módulo funcionó, cuando logró funcionar correctamente se había realizado aproximadamente más 40 pruebas.

Otro inconveniente que se tuvo con la programación del módulo EasyVR fue que los comandos de cada grupo no sonaban coherentes para cada función que realizaba el sistema. Por lo tanto, se decidió utilizar solo uno de los tres grupos que están alojados en dicho módulo, el cual, sería el grupo 3 (Wordset 3), visualizando mejor los grupos y sus respectivos comandos en la Tabla 10.

Tabla 10. Grupos de comandos

Comandos		
Grupo 1 (Wordset 1)	Grupo 2 (Wordset 2)	Grupo 3 (Wordset 3)
1. Robot	1. A la izquierda	1. Cero
2. Acción	2. A la derecha	2. Uno
3. Muévete	3. Arriba	3. Dos
4. Gira	4. Abajo	4. Tres
5. Corre	5. Adelante	5. Cuatro
6. Mira	6. Atrás	6. Cinco
7. Ataca		7. Seis
8. Para		8. Siete
9. Hola		9. Ocho
		10. Nueve
		11. Diez

Los comandos que estaban seleccionados para cada acción eran:

- Encendido comando: “Acción”
- Apagado comando: “Para”
- Llave cerrada comando: “Cero”
- Llave medio abierta comando: “Atrás”
- Llave totalmente abierta comando: “Adelante”
- Agua fría comando: “Uno”
- Agua tibia comando: “Dos”
- Agua caliente comando: “Tres”

Todos estos comandos para las distintas funciones se escuchaban incoherentes, por tal razón se optó por seleccionar un solo grupo, en donde todos los comandos

del grupo escogido se tenían que adecuar a las distintas funciones del sistema, el grupo 3 (Wordset 3) fue el grupo seleccionado para su utilización y los comandos con sus respectivas funciones, quedaron de la siguiente forma:

- Encendido comando: “Uno”
- Apagado comando: “Cero”
- Llave cerrada comando: “Dos”
- Llave medio abierta comando: “Tres”
- Llave totalmente abierta comando: “Cuatro”
- Agua fría comando: “Cinco”
- Agua tibia comando: “Seis”
- Agua caliente comando: “Siete”

Para mejorar aún más la precisión que posee el módulo de reconocimiento de voz, se intentaron añadirles algunos filtros analógicos, los cuales, se diseñaron tomando ciertas frecuencias para poder mejorar un poco dicho reconocimiento, pero los resultados no fueron los esperados, debido que cuando se realizaban las pruebas finales en ciertas ocasiones existía perturbación con el ruido que generaba la caída del agua hacia el módulo.

Se trató de mejorar la precisión utilizando la Raspberry Pi, la cual, no es más que una computadora pequeña como se muestra en la Figura 29. Se procedió con las configuraciones de motores de reconocimiento instalando ciertos softwares en dicha computadora tales como: Raspbian, Jasper, y Julius.



Figura 29. Raspberry Pi 3 (Pi, s.f.)

Primeramente, se tuvo que descargar e instalar el software del sistema operativo apropiado para la Raspberry Pi, el cual fue, el software llamado Raspbian. Este software se encuentra en la página principal de Raspberry.

Luego de ejecutar el siguiente comando se tuvo que expandir la memoria del sistema y reiniciar la Raspberry. (Shurhob Saha, Charlie Marsh, s.f.)

```
sudo raspi-config
```

Se ejecutaron los siguientes comandos para actualizar la Raspberry e instalar algunas herramientas útiles. (Shurhob Saha, Charlie Marsh, s.f.)

```
sudo apt-get update
```

```
sudo apt-get upgrade --yes
```

```
sudo apt-get install nano git-core python-dev bison libasound2-dev libportaudio-dev  
python-pyaudio --yes
```

```
sudo apt-get remove python-pip  
sudo easy_install pip
```

Se conectó el micrófono USB que se muestra en la Figura 30 a la Raspberry Pi. Y se creó un archivo de configuración ALSA: (Shurhob Saha, Charlie Marsh, s.f.)

```
sudo nano /lib/modprobe.d/jasper.conf
```



Figura 30. Micrófono USB

Luego se agregó las siguientes líneas: (Shurhob Saha, Charlie Marsh, s.f.)

```
# Cargar audio USB antes de la tarjeta de sonido interna  
opciones snd_usb_audio index = 0  
opciones snd_bcm2835 index = 1
```

```
# Asegúrese de que las tarjetas de sonido estén ordenadas de la manera correcta  
en ALSA  
opciones snd slots = snd_usb_audio, snd_bcm2835
```

Se reinició la Raspberry Pi nuevamente con el siguiente comando: (Shurhob Saha, Charlie Marsh, s.f.)

```
sudo shutdown -r now
```

Con la línea de código a continuación, se comprobó que la grabación funcionó grabando un poco de audio con el siguiente comando: (Shurhob Saha, Charlie Marsh, s.f.)

```
arecord temp.wav
```

Para poder reproducir el archivo grabado se ejecuta lo siguiente, y se tuvo que conectar parlantes o auriculares conectados a la toma de audio de su Pi. (Shurhob Saha, Charlie Marsh, s.f.)

```
aplay -D hw:1,0 temp.wav
```

Se agregó la siguiente línea al final de `~/ .bash_profile` (puede necesitar ejecutar `touch ~/ .bash_profile` si el archivo ya no existe): (Shurhob Saha, Charlie Marsh, s.f.)

```
export LD_LIBRARY_PATH="/usr/local/lib"  
source .bashrc
```

Y esto a tu `~/ .bashrc` o `~/ .bash_profile`: (Shurhob Saha, Charlie Marsh, s.f.)

```
LD_LIBRARY_PATH="/usr/local/lib"  
export LD_LIBRARY_PATH  
PATH=$PATH:/usr/local/lib/  
export PATH
```

Con los comandos anteriores ejecutados, la Raspberry Pi estaba lista para instalar Jasper. (Shurhob Saha, Charlie Marsh, s.f.)

En el directorio de inicio de la Raspberry Pi, se clonó el código fuente de Jasper con la siguiente línea de código:

```
git clone https://github.com/jasperproject/jasper-client.git jasper
```

Jasper requiere varias bibliotecas de Python para funcionar, esto se logra ejecutando las dos líneas de código de abajo: (Shurhob Saha, Charlie Marsh, s.f.)

```
sudo pip install --upgrade setuptools  
sudo pip install -r jasper/client/requirements.txt
```

Para poder entender lo que dice Jasper aún, se necesitó un motor de voz a texto (STT). Jasper también necesita un motor texto a voz (TTS) para responder a sus comandos. Jasper pretende ser modular y, por lo tanto, le ofrece la opción de motor STT / TTS que desea utilizar. Dependiendo de su elección, puede ser necesario instalar software adicional. (Shurhob Saha, Charlie Marsh, s.f.)

Se tuvo que elegir el motor de voz a texto (STT) a usar por Jasper. Un motor STT es básicamente. Si bien la mayoría de las herramientas de reconocimiento de voz solo se basan en un único motor STT, Jasper intenta ser modular y, por lo tanto, ofrece una amplia variedad de motores STT: (Shurhob Saha, Charlie Marsh, s.f.)

- Pocketsphinx es un decodificador de voz de código abierto del proyecto CMU Sphinx. Es rápido y está diseñado para funcionar bien en sistemas integrados (como el Raspberry Pi). El reconocimiento se realizará sin conexión, es decir, no necesita una conexión a Internet activa para usarlo. Es lo correcto para usar si tiene cuidado con sus datos personales.

- Google STT es el sistema de voz a texto de Google. Si tiene un teléfono inteligente con Android, es posible que ya esté familiarizado con él, porque básicamente es el mismo motor que realiza el reconocimiento si dice OK, Google. Solo puede transcribir una cantidad limitada de palabras por día y necesita una conexión a Internet activa.
- AT&T STT es un decodificador de voz de la compañía de telecomunicaciones AT&T. Al igual que Google Speech, también realiza decodificación en línea y, por lo tanto, necesita una conexión a Internet activa.
- Wit.ai STT se basa en los servicios de la nube wit.ai y utiliza crowdsourcing para entrenar algoritmos de reconocimiento de voz. Como esperaría de un servicio en la nube, también necesita una conexión a Internet activa.
- Julius es un motor de reconocimiento de voz de código abierto de alto rendimiento. No necesita una conexión a internet activa. Tenga en cuenta que deberá entrenar su propio modelo acústico, que es una tarea muy compleja para la que no brindamos asistencia. Los usuarios regulares probablemente estén mejor equipados con uno de los otros motores STT listados aquí. (Shurhob Saha, Charlie Marsh, s.f.)

Se escogió el motor y se instaló las dependencias para el motor PocketSphinx STT debido a su facilidad y su utilización sin necesidad de internet.

Nota: Instalar Pocketsphinx tomó bastante tiempo porque se compilaron algunas cosas desde la fuente.

Jasper se configuró para poder usar PocketSphinx para reconocimiento de voz. De tal forma, se usó pocketsphinx como STT Engine, y se instaló las siguientes dependencias: (Shurhob Saha, Charlie Marsh, s.f.)

- sphinxbase & pocketsphinx
- CMUCLMTK
- MIT Language Modeling Toolkit
- m2m-aligner

- OpenFST & Phonetisaurus

En la instalación de Sphinxbase / Pocketsphinx, primero se tuvo que instalar Pocketsphinx. (Shurhob Saha, Charlie Marsh, s.f.)

```
sudo apt-get update
```

```
sudo apt-get install pocketsphinx python-pocketsphinx
```

Luego se ejecutaron las siguientes líneas de código: (Shurhob Saha, Charlie Marsh, s.f.)

```
wget
```

```
http://downloads.sourceforge.net/project/cmusphinx/sphinxbase/0.8/sphinxbase-0.8.tar.gz
```

```
tar -zxvf sphinxbase-0.8.tar.gz
```

```
cd ~/sphinxbase-0.8/
```

```
./configure --enable-fixed
```

```
make
```

```
sudo make install
```

```
wget
```

```
http://downloads.sourceforge.net/project/cmusphinx/pocketsphinx/0.8/pocketsphinx-0.8.tar.gz
```

```
tar -zxvf pocketsphinx-0.8.tar.gz
```

```
cd ~/pocketsphinx-0.8/
```

```
./configure
```

```
make
```

```
sudo make install
```

```
cd ..
```

```
sudo easy_install pocketsphinx
```


Seguido de la instalación de CMUCLMTK iniciando la instalacion de algunas dependencias. (Shurhob Saha, Charlie Marsh, s.f.)

```
sudo apt-get install subversion autoconf libtool automake gfortran g++ --yes
```

A continuación, se tuvo que dirigir al directorio de inicio (o Jasper) para verificar e instalar CMUCLMTK: (Shurhob Saha, Charlie Marsh, s.f.)

```
svn co https://svn.code.sf.net/p/cmuspinx/code/trunk/cmuclmtk/  
cd cmuclmtk/  
./autogen.sh && make && sudo make install  
cd ..
```

Luego, cuando abandoné el directorio CMUCLTK, descargué las siguientes bibliotecas de abajo. Para utilizar el motor Pocketsphinx STT, también debe instalar MIT Language Modeling Toolkit, m2m-aligner y Phonetisaurus (y por lo tanto OpenFST) ejecutando lo siguiente. (Shurhob Saha, Charlie Marsh, s.f.)

```
wget http://distfiles.macports.org/openfst/openfst-1.3.4.tar.gz  
wget https://github.com/mitlm/mitlm/releases/download/v0.4.1/mitlm_0.4.1.tar.gz  
wget https://storage.googleapis.com/google-code-archive-downloads/v2/code.google.com/m2m-aligner/m2m-aligner-1.2.tar.gz  
wget https://storage.googleapis.com/google-code-archive-downloads/v2/code.google.com/phonetisaurus/is2013-conversion.tgz
```

Se deshicieron las descargas con los siguiente: (Shurhob Saha, Charlie Marsh, s.f.)

```
tar -xvf m2m-aligner-1.2.tar.gz  
tar -xvf openfst-1.3.4.tar.gz  
tar -xvf is2013-conversion.tgz  
tar -xvf mitlm_0.4.1.tar.gz
```

Se construyó OpenFST (Shurhob Saha, Charlie Marsh, s.f.)

```
cd openfst-1.3.4/  
sudo ./configure --enable-compact-fsts --enable-const-fsts --enable-far --enable-  
lookahead-fsts --enable-pdt  
sudo make install # come back after a really long time
```

Se construyó M2M (Shurhob Saha, Charlie Marsh, s.f.)

```
cd m2m-aligner-1.2/  
sudo make
```

Se construyó MITLMT (Shurhob Saha, Charlie Marsh, s.f.)

```
cd mitlm-0.4.1/  
sudo ./configure  
sudo make install
```

Se construyó Phonetisaurus (Shurhob Saha, Charlie Marsh, s.f.)

```
cd is2013-conversion/phonetisaurus/src  
sudo make
```

Se movieron algunos de los archivos compilados (Shurhob Saha, Charlie Marsh, s.f.)

```
sudo cp ~/m2m-aligner-1.2/m2m-aligner /usr/local/bin/m2m-aligner  
sudo cp ~/is2013-conversion/bin/phonetisaurus-g2p /usr/local/bin/phonetisaurus-  
g2p
```

Se construyó el modelo Phonetisaurus FST (Shurhob Saha, Charlie Marsh, s.f.)

```
wget https://www.dropbox.com/s/kfht75czdwucni1/g014b2b.tgz  
tar -xvf g014b2b.tgz
```

Se construyó el modelo Phonetisaurus (Shurhob Saha, Charlie Marsh, s.f.)

```
cd g014b2b/  
./compile-fst.sh  
cd ..
```

Finalmente se renombra el siguiente folder por conveniencia: (Shurhob Saha, Charlie Marsh, s.f.)

```
mv ~/g014b2b ~/phonetisaurus
```

Una vez las instalaciones fueron completadas, se tuvo que reiniciar la Raspberry Pi. En este punto, se instaló Jasper y todo el software necesario para ejecutarlo. Pero de igual forma los resultados no fueron satisfactorios. Incluso se cambió de motor de voz a texto usando Google, pero el resultado fue similar al anterior. Luego, se instaló Julius para poder mejorar el reconocimiento, pero todos los resultados fueron similares. Al final solo se ideó la posición de la persona a utilizar la ducha, de tal forma que la persona debería estar bajo la caída del agua impactando en la espalda de dicha persona. Al realizar esto se lograron muy buenos resultados siendo el reconocimiento más eficiente.

2.8.2. Implementación del calentador de la ducha eléctrica

Primeramente, se realizó en simulación los respectivos circuitos que permitieron el correcto funcionamiento del calentador, usando como entrada al microcontrolador, un detector de cruce por cero capaz de captar cada vez que hay un cero en la señal senoide proveniente del suministro usando modulación por posición de pulso, que no es más que, un tipo de modulación especial eficiente para poder realizar envío de un pequeño pulso sin necesidad de enviar un tren de pulsos como lo hace la modulación por ancho de pulso (PWM). Asimismo, se le envía la señal a la parte de potencia encargada de controlar el paso de la corriente hacia la carga en este caso la ducha.

En el lugar El Rosario, Carazo donde se realizaron todas las pruebas del sistema total, con la información brindada por el ente regulador de agua y alcantarillados (ENACAL) la presión del agua proveniente de la tubería es de aproximadamente 10 psi (libras por pulgadas cuadradas) equivalente a 68.95 kPa (kilo pascales), según el funcionamiento del calentador de la ducha requiere como mínimo 20 kPa equivalente a 2.9 psi esto se aprecia mejor en el manual de usuario¹², si la presión es menos a 20 kPa no se podrá realizar el calentamiento.

Se tuvo que solucionar el problema del triac con respecto al consumo de la ducha, es decir, la ducha consumía aproximadamente 50 amperios y el triac BTA-40 tenía capacidad para soportar 40 amperios, existía una diferencia de 10 amperios. Se tuvo que solucionar ese problema y la solución más óptima fue elaborada por medio de programación reduciendo la apertura del triac desde el microcontrolador. Esta solución permite al sistema tener un ahorro de energía eléctrica considerable consumiendo aproximadamente 15 a 16 amperios y no como las duchas normales que consumen aproximadamente 50 amperios.

¹² Ver Anexo 4: Manual del usuario

Otro problema que se presentaba era cuando se activaba el calentador, y se elegía el set point correspondiente a agua tibia, calentaba perfectamente y se mantenía en dicho set point, pero al cambiar el set point correspondiente a agua caliente no llegaba al valor deseado y se desactivaba inmediatamente, al analizar este problema se revisó la programación y se encontraba correcta, el problema encontrado era un mal contacto del cableado hacia la etapa de potencia.

Después, de ciertas pruebas se logró llegar a la conclusión que el sensor tenía que ser ubicado en la parte interna de la ducha, sensando correctamente desde el interior. El sensor fue ubicado dentro de un tubo de ancho parecido al cable coaxial como se muestra en la Figura 31. Fue sellado en una parte del extremo con poxipol, el cual, es un pegamento duradero y resistente al contacto con fluidos. Luego, se realizaron las pruebas y se lograron grandes resultados, sin peligro de corto circuito.



Figura 31. Tubo usado para sensor LM35 (aluminio, s.f.)

Cabe recordar, el peligro de estar manejando esa cantidad de corriente, cada prueba fue realizada con sumo cuidado, ya que cualquier descuido o mal manejo que se haya efectuado en las pruebas hechas, hubiera sido trágico.

2.8.3. Implementación Servomotor

Se tuvo que solucionar como tendría que ir ubicado el servomotor en la válvula o llave de paso de agua de un baño, el soporte tenía que brindar al servomotor una muy buena estabilidad y un óptimo desempeño. Por tal razón, se creó el soporte como se muestra en la Figura 32.

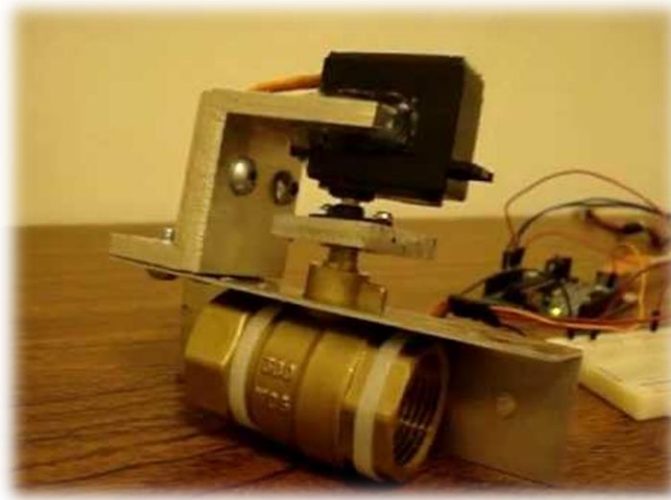


Figura 32. Soporte del servomotor

Donde la implementación del sistema total implementado se aprecia en la Figura 33. Visualizando en la imagen todos los bloques que conforman al prototipo, destacando las protecciones que se añadieron al servomotor y al módulo EasyVr contra salpicaduras de agua.



Figura 33. Sistema total implementado

2.9. Consumo energético del sistema total

El consumo energético es muy importante en un sistema donde se calienta líquidos en este caso agua en movimiento. Debido a esto se decidió hacer la comparación entre el consumo que existe con y sin control, ratificando la diferencia entre los dos escenarios que se explican a continuación.

2.9.1. Consumo energético sin control

Las duchas que son ofertadas en el mercado local no poseen un sistema de control que les ayude a ahorrar un poco la energía eléctrica, es por eso, que su consumo es exagerado, en la siguiente tabla se logra apreciar mejor el consumo de una ducha sin existencia de algún tipo de sistema de control.

Tabla 11. Consumo energético sin control

Sistema completo	Consumo en Amperios (A)
	Aprox. 50

2.9.2. Consumo energético con control

El sistema realizado cuenta con un ahorro de energía considerable, debido que las duchas normales, tienden a consumir demasiada energía eléctrica, debido que están conectadas directamente al suministro, esto se reduciría, si existiera un sistema de control que disminuyera su consumo. En la Tabla 12 se aprecia el consumo energético del circuito de control del sistema elaborado.

Tabla 12. Consumo energético del circuito de control

Componente electrónico	Consumo energético	
	Consumo en Voltios (V DC)	Consumo en Amperios (A)
Pantalla LCD 16X2	5V	0.2
Microcontrolador PIC 16f877A	5V	0.25
Sensor LM35	5V	0.01
Servomotor MG996R	5V	0.7
Módulo EasyVR	5V	0.035
Consumo total		1.195

El consumo energético del circuito de control necesita 5V DC como alimentación, por tal razón, en la sección anterior se escoge precisamente dos reguladores LM7805, los cuales, son capaces de alimentar todo el circuito de control sin ningún problema brindando de igual forma la cantidad de corriente necesaria para dicho circuito, en la Tabla 13 muestra el consumo del circuito de potencia con la inclusión de un circuito de control.

Tabla 13. Consumo energético del circuito de potencia

Componente electrónico	Consumo energético	
	Consumo en Voltios (V AC)	Consumo en Amperios (A)
Ducha eléctrica Lorenzetti	110	14.1
Triac BTA-40	-	0.05
Opto acoplador 3010	-	0.05
Consumo total		14.2

Habiendo obtenido el consumo energético de los distintos circuitos que conforman el sistema desarrollado, se obtuvo el consumo total del sistema completo, el cual, se aprecia en la Tabla 14.

Tabla 14. Consumo energético total del sistema

Consumo energético total del sistema	
Circuitos	Consumo en Amperios (A)
Circuito de control	1.195
Circuito de potencia	14.2
Consumo total	Aprox. 15.395

Según el instituto nicaragüense de energía INE de acuerdo al consumo de aparatos eléctricos en base a horas de uso domiciliario, en este caso la ducha eléctrica según este instituto está dado para el consumo de 120 voltios con 21.74 amperios correspondientes a 2,608.8 vatios a 30 horas por mes se producen 78.26 kilo vatios por mes, y en kilo vatios por día son 2.61, obteniendo estos valores por parte del ente regulador de energía nicaragüense nos damos cuenta que el consumo en amperios representado en la tabla de consumo eléctricos que publican en su página oficial de libre acceso por cualquier persona, la cantidad que ellos establecen es mayor al consumo del sistema desarrollado, esto quiere decir que el consumo total en kilo vatios disminuiría, siendo el sistema desarrollado ahorrativo en comparación a los parámetros explicados anteriormente.

El consumo del sistema desarrollado tomando como referencia el suministro de 120 voltios con 15 amperios aproximadamente de consumo de corriente se produce 1,800 vatios de potencia a 30 horas de consumo por mes se generan 54 kilo vatios, siendo los kilo vatios consumidos por cada día de 1.8, Confirmando el ahorro de energía eléctrica por parte del sistema realizado en comparación con la tabla del consumo de aparatos eléctricos proporcionado por el instituto nicaragüense de

energía, existiendo un ahorro de un poco menos de la mitad del valor que se visualiza en dicha tabla.

2.10. Presupuesto

El presupuesto se encuentra dividido en 2 partes las cuales son las siguientes: Circuitería y componentes, y las horas de programación realizadas, estas se aprecian en la Tabla 15 donde las horas que se visualizan en dicha tabla pertenecen a 160 horas al mes si se trabaja 8 horas por 20 días, los cuales multiplicados por 4 meses obtenemos las 640 horas. Asimismo, se tomó como referencia el acta que nos brinda la comisión nacional de salario mínimo dividida en varios sectores siendo el salario mensual para esta área de C\$ 6,384.37 equivalentes a \$212.81. Calculando, el valor por cada día (20 días) se obtienen C\$ 319.22 y por cada hora (8 horas por día) se alcanzan C\$ 39.90, asumiendo \$2 la hora.

Tabla 15. Presupuesto del proyecto

Presupuesto del proyecto			
Proyecto	Tiempo (Horas)	Costo por hora (\$)	Subtotal (\$)
Circuitería, componentes y demás	-	-	216.44
Horas de programación realizadas	640	2	1,280
Total			1,496.44

El presupuesto más detallado con toda la circuitería, componentes y demás se encuentran especificados a detalle en la sección anexos¹³.

¹³ Ver Anexo 3: Presupuesto

CAPITULO III. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. Conclusiones

Se verificó mediante simulación la efectividad de dichos circuitos diseñados utilizando el programa Proteus como simulador y se lograron simulaciones exitosas.

Se realizaron pruebas del prototipo en tabla de nodos para determinar su correcto funcionamiento, donde las pruebas que se realizaron fueron exitosas en un 80% ya que una de las pruebas generó ciertas fallas, se solucionó el problema y se logró realizar nuevamente la prueba faltante y se consiguió buenos resultados.

Se desarrolló el prototipo en tarjetas PCB utilizando la técnica ampliamente usada como es el método de planchado y la introducción de la pista previamente planchada en ácido donde las pruebas que se realizaron fueron las esperadas.

La principal ventaja que presenta el dispositivo electrónico desarrollado es que genera independencia a la persona con deficiencia en las extremidades inferiores y personas no videntes, ya que posee un circuito encargado de controlar la temperatura y un servomotor que controla el flujo de agua, mediante reconocimiento por comandos de voz.

El sistema puede ser reprogramado para ofrecer mayor facilidad de uso a la persona discapacitada, esto se logra una vez estableciendo la temperatura y flujo de agua que requiere la persona discapacitada. Estos son almacenados y activados con el estado “encender”, y son desactivados con el estado “apagar”, haciendo rápido y eficiente el uso de la ducha.

3.2. Recomendaciones

- Se sugiere que el local donde se implementará el sistema tenga un sistema eléctrico en óptimas condiciones para así lograr un uso eficiente del sistema.
- Se recomienda leer detenidamente el manual para el correcto uso del sistema.
- En caso de ausencia de electricidad por un corto periodo de tiempo y existiendo flujo de agua, el sistema no funcionará, por tal razón se sugiere la realización de un circuito que mantenga energizado el sistema, mientras la electricidad vuelve.
- Para lograr una mayor interacción de la persona con el sistema se recomienda grabar audios para cada comando, donde cada audio se reproduzca cuando se reconozca cada comando, haciendo al sistema más interactivo para el usuario.
- Añadir un ventilador en el lugar donde se encuentre ubicado el circuito de control, con el propósito de mantener ventilado dicho sitio para evitar cualquier tipo de peligro.

REFERENCIAS

- 16X2, L. (s.f.). Obtenido de <https://ae01.alicdn.com/kf/HTB1dhoxSXXXXXXoaXXXq6xXFXXXf/20PCS-LCD1602-blue-screen-Character-LCD-Display-Module-Blue-Blacklight-New-font-b-16X2-b-font.jpg>
- aluminio, T. d. (s.f.). Obtenido de http://mlb-s2-p.mlstatic.com/417201-MLB20298397613_052015-O.jpg
- Areny, R. P. (2003). *Sensores y acondicionadores de señal*. Barcelona: Marcombo.
- Bolton, W. (2013). *Sistemas de control electrónico en ingeniería mecánica y eléctrica*. Mexico: Alfaomega.
- Breijo, E. G. (2008). *Compilador C CC y simulador Proteus para microcontroladores PIC*. México: Alfaomega grupo editor de S.A de C.V.
- BTA-40, T. (s.f.). Obtenido de <https://ae01.alicdn.com/kf/HTB1AyrAdwoQMeJy0Foq6AShVXab/Free-Shipping-20pcs-lot-font-b-BTA40-b-font-700B-font-b-BTA40-b-font-font.jpg>
- Bustio, J. M. (1994). *Sistema de identificación y control automáticos (II)*. Barcelona: Marcombo.
- Eltron, S. (s.f.). Calentadores eléctricos instantaneos. *Esco Electric*, 44.
- Guerrero, I. I. (11 de Enero de 2011). *Ducha eléctrica, funcionamiento y partes*. Obtenido de <https://iguerrero.wordpress.com/2011/01/11/ducha-electrica-funcionamiento-y-partes/>
- Harper, I. G. (2004). *El ABC DE LAS MÁQUINAS ELÉCTRICAS II. MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA*. México.
- Ibraahim, D. (2008). *Adnanced Pic Microcontroller Projects In C*. Burlington, USA.
- Karl J. Astrom, T. H. (2009). *Control PID avanzado*. Madrid.
- Lorenzetti, D. (s.f.). Obtenido de https://movatools.com/wp-content/uploads/product_images/7896451825063.jpg
- Maloney, T. J. (2006). *ELECTRÓNICA INDUSTRIAL MODERNA*. México: Pearson.
- Mendoza, J. R. (2011). *Diseño y simulación de sistemas microcontrolados en lenguaje C*. Colombia.

- MG996R, S. (s.f.). Obtenido de <https://img.banggood.com/images/oaupload/banggood/images/0B/7F/45f93ab0-7b6b-4602-b1f9-ef9fd8a3db67.jpg>
- Nise, N. S. (2011). *Control Systems Enginnering*. California.
- Ogata, K. (2010). *MODERN CONTROL ENGINEERING*. New Jersey.
- Pi, R. (s.f.). Obtenido de http://media.rs-online.com/t_large/R1225826-01.jpg
- Shield, E. (s.f.). Obtenido de <http://3.bp.blogspot.com/-uvHwaI7nzkl/UUPMgHn-mZI/AAAAAAAAAUy/q7KAlwi-9kk/s1600/Imagen+EasyVR.jpg>
- Shurhob Saha, Charlie Marsh. (s.f.). *Jasper Project*. Obtenido de Jasper Project: <http://jasperproject.github.io/>
- YF-S201, S. (s.f.). Obtenido de <http://www.hobbytronics.co.uk/image/cache/data/misc/sensors/yf-s201-hall-effect-flow-meter-2-500x500.jpg>
- Zanuy, M. F. (2000). *TRATAMIENTO DIGITAL DE VOZ E IMAGEN Y APLICACIÓN A LA MULTIMEDIA*. Marcombo.